



**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRO ÜFLEMELİ EĞİRME TEKNİĞİNİN BAHARAT KARIŞIMI
UÇUCU YAĞLARI İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ POLİLAKTİK ASİT
ESASLI NANOLİF ÜRETİMİNDE KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hilal Özge BOYRAZ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Gıda Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

EKİM 2024

**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRO ÜFLEMELİ EĞİRME TEKNİĞİNİN BAHARAT KARIŞIMI
UÇUCU YAĞLARI İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ POLİLAKTİK ASİT
ESASLI NANOLİF ÜRETİMİNDE KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hilal Özge BOYRAZ
(21278347003)
ORCID: 0000-0002-8201-3416**

**Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı
Gıda Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı**

**Danışman: Doç. Dr. Aycan YİĞİT ÇINAR
ORCID: 0000-0003-2038-725X
İkinci Danışman: Doç. Dr. Furkan Türker SARICAOĞLU
ORCID: 0000-0003-1173-5793**

EKİM 2024

BTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 21278347003 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Hilal Özge BOYRAZ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "ELEKTRO ÜFLEMELİ EĞİRME TEKNİĞİNİN BAHARAT KARIŞIMI UÇUCU YAĞLARI İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ POLİLAKTİK ASİT ESASLI NANOLİF ÜRETİMİNDE KULLANIMI" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Aycan YİĞİT ÇINAR**
Bursa Teknik Üniversitesi

İkinci Danışman : **Doç.Dr. Furkan Türker SARICAOĞLU**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Adnan Fatih DAĞDELEN**
Bursa Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Yasemin ŞAHAN
Bursa Uludağ Üniversitesi

Teslim Tarihi :
Savunma Tarihi : **10.10. 2024**



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Hilal Özge BOYRAZ

İmzası:

X



Canım kızım Defne Mira'ya,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimimin başından sonuna kadar, tez sürecimin her noktasında bana destek olan, kendime inancımı yitirdiğimde bile bana inancını kaybetmeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Aycan YİĞİT ÇINAR'a sonsuz teşekkür ederim. Tez sürecim boyunca desteğini esirgemeyen eş danışmanım Doç. Dr. Furkan Türker SARICAĞLU'na teşekkür ederim.

Tez dönemimde bana en büyük motivasyon desteğini sağlayan sevgili eşim Salih BOYRAZ'a ve güzel gülümsemesiyle hep yanımda olan canım kızım Defne Mira BOYRAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tezimi yazma aşamasında beni asla yalnız bırakmayan, her zaman yapabileceğime olan inancımı tazeleyen canım annem Berna FİLİZ'e ve babam Arda FİLİZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ekim 2024

Hilal Özge BOYRAZ
(Gıda Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	x
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xiv
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
2. NANOTEKNOLOJİ VE NANOLİFLER.....	3
2.1 Nanoteknoloji	3
2.1.1 Gıda alanında nanoteknolojik uygulamalar	4
2.2 Biyopolimerler	4
2.2.1 Polilaktik asit (PLA)	5
2.3 Nanolifler	6
2.3.1 Nanolif üretim yöntemleri.....	7
2.3.1.1 Elektro eğirme (elektrospinnig) yöntemi	7
2.3.1.2 Çözelti üflemeli eğirme (solution blow spinning) yöntemi	8
2.3.1.3 Santrifüj eğirme yöntemi (Centrifugal spinning).....	9
2.3.1.4 Eriyik üfleme yöntemi (Melt blowing)	9
2.4 Elektro Üflemeli Eğirme Yöntemi (Electro Blown)	10
2.4.1 Elektro üflemeli eğirme yöntemini etkileyen parametreler	12
2.4.1.1 Yüzey gerilimi.....	13
2.4.1.2 Dielektrik sabiti.....	13
2.5 Nanoliflerin Gıda Ambalajı Olarak Kullanılması	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	17
3.1 Materyal	17
3.2 Yöntem	17
3.2.1 Polimer çözeltisinin hazırlanması	17
3.2.2 Elektro üflemeli eğirme ile nanolif üretimi.....	17
3.2.3 Nanolif katmanların kalınlık ölçümleri.....	18
3.2.4 Nanolif katmanların mekanik özellik analizleri.....	18
3.2.5 Nanolif katmanların su buharı geçirgenlik analizi	19
3.2.6 Nanolif katmanların suda çözünürlük analizi	19
3.2.7 Nanolif katmanların temas açısı analizi	19
3.2.8 Nanolif katmanların DSC ile termal özellikleri:	20
3.2.9 Nanolif katmanların yapı tayini (FTIR) analizi	20
3.2.10 Nanoliflerin SEM ile morfolojik özellikleri.....	20
3.2.11 Nanolif katmanların antioksidan kapasitesi	20

3.2.12 İstatiksel analizler	21
4. BULGULAR.....	22
4.1 Kalınlık.....	22
4.2 Mekanik Özellikler.....	23
4.3 Su Buharı Geçirgenliği.....	25
4.4 Suda Çözünürlük	26
4.5 Temas Açısı.....	27
4.6 DSC ile termal özellikler.....	29
4.7 Yapı Tayini.....	31
4.8 SEM İle Morfolojik Özellikler	32
4.9 Antioksidan Kapasite	35
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	37
KAYNAKLAR	39
ÖZGEÇMİŞ.....	45



KISALTMALAR

DPPH	: 2,2, difenil 1-pikri hidrazil
DSC	: Diferansiyel taramalı kalorimetre
EY	: Esansiyel yağ
HA	: Hyaluronik asit
PCM	: Faz değişim materyalleri
PEO	: Polietilen oksit
PLA	: Polilaktik asit
TGA	: Termo-gravimetrik analiz

SEMBOLLER

Akontrol : Nanolif içermeyen DPPH çözeltisinin absorbans değeri

Aörnek : Nanolif içeren DPPH çözeltisinin absorbans değeri

T_g : Camsı geçiş sıcaklığı (°C)

T_c : Kristalizasyon sıcaklığı (°C)



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Polilaktik asitin avantajları ve dezavantajları.....	6
Çizelge 2.2 : Elektro üflemlerle eğirme yöntemini etkileyen parametreler.....	12
Çizelge 4.1 : Farklı konsantrasyonlarda esansiyel yağ içeren PLA nanoliflerin mekanik özellikleri.	23
Çizelge 4.3 : Farklı konsantrasyonlarda esansiyel yağ içeren PLA esaslı nanoliflerin antioksidan kapasiteleri.	35

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Elektro eğirme yönteminin şematik gösterimi.	7
Şekil 2.2 : Çözelti üfleli eğirme yönteminin şematik gösterimi.	8
Şekil 2.3 : Meltblown eriyik püskürtme tekniğinin şematik görünümü.	10
Şekil 2.4 : Elektro üfleli eğirme yönteminin çalışma prensibi.	11
Şekil 3.1 : Elektro üfleli eğirme sistemi.	18
Şekil 4.1 : Esansiyel yağ içeren nanolif tabakaların kalınlık ölçümleri.	22
Şekil 4.2 : Farklı oranlarda esansiyel yağ içeren nanoliflerin SBG değerleri.	25
Şekil 4.3 : Esansiyel yağ konsantrasyonunun nanolif katmanların suda çözünürlüğüne etkisi.	27
Şekil 4.4 : Temas açısı görüntüleri. (Şekildeki görüntüler a): PLA, b): PLA-EO20 c): PLAEO25, d): PLA-EO30, e): PLA-EO35 konsantrasyonlarına aittir).	28
Şekil 4.5 : DSC grafiği.	30
Şekil 4.6 : Esansiyel yağ katkıli nanoliflere ait FTIR grafiği.	31
Şekil 4.7 : PLA nanolife ait SEM görüntüleri	33
Şekil 4.8 : %20 oranında esansiyel yağ içeren nanolif (a), %25 oranında esansiyel yağ içeren nanolif (b), %30 oranında esansiyel yağ içeren nanolif (c), %35 oranında esansiyel yağ içeren nanolif (d).	33
Şekil 4.9 : Lif çapı değişim grafikleri (%20 oranında esansiyel yağ içeren nanolif (a), %25 oranında esansiyel yağ içeren nanolif (b), %30 oranında esansiyel yağ içeren nanolif (c), %35 oranında esansiyel yağ içeren nanolif (d)).	34

ELEKTRO ÜFLEMELİ EĞİRME TEKNİĞİNİN BAHARAT KARIŞIM UÇUCU YAĞLARI İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ POLİLAKTİK ASİT ESASLI NANOLİF ÜRETİMİNDE KULLANIMI

ÖZET

Gıdaların raf ömrünün artırılması ve bozulmaların azaltılması amacıyla yenilikçi ambalajlama teknolojileri önem kazanmaktadır. Çevre sorunları da göz önüne alındığında biyobozunur ambalaj malzemelerinin geliştirilmesinde nanoteknoloji büyük önem taşımaktadır. Geliştirilen ambalaj malzemesinin endüstride kullanılabilmesi için üretiminin kolay ve ekonomik olması önem taşımaktadır. Nanolif üretiminde yeni bir yöntem olan elektro- üfleme yöntemi, elektro üfleme yönteminin diğer üretim sistemlerine göre daha ince lif elde etme avantajı ile çözümlenmiş üfleme yönteminin yüksek üretim verimliliği avantajını tek bir kurulumda bir araya getirmektedir. Nanoteknoloji uygulamaları kullanılarak üretilen nanoparçacıklar ile gıda maddelerine tekstür ve aroma gibi istenilen özelliklerin kazandırılması sağlanabilmektedir. Bu çalışmada biyobozunur bileşen olan polilaktik asit (PLA) içerikli baharat esansiyel yağ katkılı nanoliflerin elektro üfleme yöntemi ile üretimi ve karakterizasyonunun araştırılması amaçlanmıştır. Kırmızıbiber, karabiber ve kimyondan oluşan baharat karışımından clavenger düzeneği ile elde edilen esansiyel yağ kullanılmıştır. Elde edilen esansiyel yağ PLA miktarı üzerinden %20, %25, %30, %35 oranlarında PLA çözümlüsüne eklenerek nanolif üretimi yapılmıştır. Nanoliflerin morfolojik karakterini analiz etmek için sadece PLA içeren ve esansiyel yağ katkılı olan nanoliflerin ortalama lif çapları ölçülmüştür. Üretilen nanoliflerin morfolojik özellikleri SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ile incelenmiş, esansiyel yağ içeren ve içermeyen örneklerin homojen dağılım gösterdiği, yüzeylerinde topaklanma bulunmadığı ve pürüzsüz bir yüzeye sahip oldukları belirlenmiştir. Esansiyel yağın PLA içeren nanolifler içinde homojen bir şekilde dağıldığı gözlenmiştir. PLA içeren ve esansiyel yağ katkılı nanoliflerin endotermik karakter gösterdiği tespit edilmiştir. PLA içeren nanoliflerin camsı geçiş sıcaklığının esansiyel yağ katkılı nanoliflere göre daha yüksek olduğu, kristalizasyon özelliklerinde ise belirgin bir fark bulunmadığı, esansiyel yağın PLA içeren nanoliflerle amorf bir yapı oluşturduğu belirlenmiştir. Esansiyel yağ içeren nanoliflerin ortalama lif çapı 256-394 nm arasında bulunmuştur. Nanoliflerin termal özelliklerinin analizi için DSC ile camsı geçiş, kristalizasyon ve erime sıcaklıkları ölçülmüştür. Esansiyel yağ konsantrasyonu yükseldikçe kristalizasyon sıcaklığının azaldığı tespit edilmiştir. Bu çalışmanın sonucuna göre, baharat esansiyel yağının PLA içeren nanolif yapısına iyi disperse olduğu ve antioksidan kapasitesini artırdığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Polilaktik asit, Nanolif, Esansiyel yağ, Elektro-üfleme yöntemi.

USE OF ELECTRO BLOWN SPINNING TECHNIQUE IN THE PRODUCTION OF POLYLACTIC ACID-BASED NANOFIBERS ENRICHED WITH ESSENTIAL OILS FROM SPICE MIXTURES

SUMMARY

Innovative packaging technologies have gained importance in increasing the shelf life of foods and reducing spoilage. Considering environmental issues, nanotechnology plays a significant role in the development of biodegradable packaging materials. For the developed packaging material to be used in the industry, its production must be easy and economical. Electrospinning, a new method in nanofiber production, combines the advantage of obtaining thinner fibers compared to other production systems with the high production efficiency of the blowing method in a single setup. This study aims to investigate the production and characterization of nanofibers containing polylactic acid (PLA) with spice essential oil additives using the electrospinning method. Essential oils obtained from a spice mixture consisting of red pepper, black pepper, and cumin were used with a Clavenger apparatus. Essential oil was added to PLA solution at ratios of 20%, 25%, 30%, and 35% based on the PLA amount to produce nanofibers. The average fiber diameters of nanofibers containing only PLA and those with essential oil additives were measured to analyze the morphological characteristics of nanofibers. The morphological properties of the produced nanofibers were examined using SEM (Scanning Electron Microscope), and it was determined that both samples containing essential oil and those without showed homogeneous distribution, no aggregation on the surfaces, and smooth surfaces. It was observed that the essential oil was homogeneously distributed within the nanofibers containing PLA. It was determined that both PLA-containing and essential oil-added nanofibers exhibited endothermic characteristics. The glass transition temperature of PLA-containing nanofibers was higher than that of essential oil-added nanofibers, with no significant difference in crystallization characteristics, indicating that the essential oil formed an amorphous structure with PLA-containing nanofibers. The average fiber diameter of nanofibers containing essential oil ranged from 256 to 394 nm. Glass transition, crystallization, and melting temperatures were measured by DSC for thermal analysis of nanofibers. It was found that as the concentration of essential oil increased, the crystallization temperature decreased. According to the results of this study, it was observed that the spice essential oil dispersed well in the PLA-containing nanofiber structure and enhanced antioxidant capacity.

Keywords: Polyacid acid, Essential oil, Nanofiber, Electro-assisted blowing.

1. GİRİŞ

Nanoboyuttaki maddelerin yapıları fiziksel, kimyasal ve biyolojik açıdan atom ve moleküllerin etkileşimlerinden dolayı makro boyuttaki maddelerin yapılarından farklıdır. Parçacık boyutu nano boyutlara kadar küçüldükçe yüzey/hacim oranı artar ve böylece mekanik, elektriksel ve optik özellikleri değişir [1].

Nanoteknolojinin bir çıktısı olan nanoliflere olan ilgi fonksiyonel ve yapısal özelliklerinden dolayı son yıllarda artmıştır. Başta tekstil olmak üzere biyomedikal, kozmetik ve ilaç sanayi gibi birçok alanda nanolif kullanımı yaygınlaşmaktadır. Çözelti özellikleri, işlem değişkenleri ve çevresel faktörler nanoliflerin morfolojik yapısını etkilediğinden, homojen nanolif üretimi için en uygun koşullar belirlenmelidir. Klasik ambalajlara alternatif olarak geliştirilen aktif ambalajlar, gıdaların raf ömrünü uzatmak için belirli bir hedef doğrultusunda modifiye edilmektedir. Gıdaların oksidasyonunu azaltmak için modifiye atmosfer ve vakum paketlenme kullanımı endüstride yaygın olmakla birlikte bu yöntemlerde %100 oksijen çekimi çok zor ve ekonomik değildir. Ayrıca bu yöntemlerle gıdanın içinde çözünmüş halde bulunan oksijeni tamamen uzaklaştırmak mümkün değildir. Bu yüzden yapılan çalışmalar oksidasyonu engellemek için daha etkili ve ekonomik açıdan avantajlı olan antioksidan madde içeren aktif ambalajlamaya yönelmektedir [2].

Yüksek yüzey alanı/hacim oranı ve güçlü mekanik özellikleri ile nanolifler, gıda ambalajlamasında umut vaadeden materyallerdir. Nanolif üretiminde yeni bir yöntem olan elektro- üfleme eğirme yöntemi diğer üretim yöntemlerine göre daha ince lif elde etme ve çözeltilerden üfleme yöntemi ile yüksek üretim verimliliği avantajlarını bir araya getirmektedir. Bu iki yöntemin avantajlarının birleştiği yüksek verimli üretim, düşük voltaj kullanımı ve homojen lif üretimi gibi avantajlardan dolayı elektro- üfleme eğirme yöntemiyle yapılan çalışmalarda artış görülmektedir. Bu çalışmada baharat karışımı uçucu yağları ile zenginleştirilmiş polilaktik asit esaslı biyobozunur nanoliflerin elektro-üfleme yöntemi ile üretimi incelenmiş ve üretilen nanoliflerin detaylı analizleri yapılmıştır.

Nanoteknolojinin gelişmesiyle, gıda ambalajında nanoliflerin kullanımı önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir [1]. Bu özelliklerin iyileştirilmesi, nanoliflerin gıda ambalajında kullanımı için cazip hale gelmektedir. Çallıoğlu ve arkadaşları (2019), jelatin ve PVP polimerleri ile birlikte kekik yağı (TEO) kullanarak emülsiyon oluşturmuş ve bu emülsiyonu elektro-eğirme yöntemiyle nanolifli yüzeylere dönüştürmüşlerdir. Artan TEO konsantrasyonu ile çözelti iletkenliği ve yüzey gerilimi azalırken, viskozite ve absorbans değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, TEO konsantrasyonunun artışı ortalama lif çapını artırmış ve daha pürüzsüz nanolif yüzeyleri elde edilmiştir. Nanolifler, iyi antibakteriyel aktivite sergilemiştir ve 24 °C ve 37 °C'de 192 saatlik bir süre boyunca antibakteriyel aktivite göstermiştir. Bu çalışmanın sonuçları, lif morfolojisi, antibakteriyel aktivite, aromatik koku, biyoyoumluluk, depolama koşulları ve verimlilik dikkate alınarak yeni nanoliflerin üretiminde ve gelecekteki biyomedikal uygulamalarda önemli bir zemin oluşturabileceğini göstermiştir [3]. Zhou vd. (2020), gıdaların raf ömrünü uzatabilecek biyoaktif gıda ambalajlarının geliştirilmesine yönelik olarak elektro-eğirme yöntemiyle kapsüllenmiş angelica esansiyel yağı (AEO) içeren jelatin nanolifler üretmişlerdir. Jelatin/AEO nanoliflerinin morfolojisi SEM ile incelenmiş ve AEO ilavesinin lif çapını artırdığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, AEO ilavesi jelatin nanoliflerinin hidrofobik özelliğini geliştirmiştir. AEO ilave edilen nanolifler, konsantrasyona bağlı olarak hem Gram-negatif hem de Gram-pozitif bakterilere karşı önemli inhibitör etki göstermiştir. Bu nedenle, AEO içeren jelatin nanoliflerin potansiyel gıda ambalajı olarak kullanılabilirliği belirtilmiştir [4].

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmada, baharat karışımlarından elde edilen esansiyel yağların farklı konsantrasyonlarda PLA çözeltisine eklendikten sonra elektro-üfleme eğirme yöntemi kullanılarak nanolif üretimi ve bu nanoliflerin morfolojik, termal ve yüzey özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. NANOTEKNOLOJİ VE NANOLİFLER

2.1 Nanoteknoloji

Boyutları 1–100 nanometre arasında olan maddelerin incelenmesi ve işlenmesi nanoteknoloji olarak adlandırılır. Nano boyutlarda bilim, mühendislik ve teknolojiyi içine alan nanoteknoloji, malzemelerin bu boyut ölçeğinde görüntülenmesini, ölçülmesini, modellemesini ve manipüle edilmesini içerir. Nano boyutta, materyalin kimyasal, fiziksel, ve biyolojik özellikleri, atom ve molekül düzeyinde veya kütleli olarak farklı ve kullanışlı bir şekilde değişebilir. Nanoteknoloji araştırma ve geliştirme (AR-GE) çalışmaları, bu yeni özelliklere sahip gelişmiş malzemelerin, cihazların ve sistemlerin anlaşılmasına ve oluşturulmasına odaklanmıştır. Nanoteknoloji, maddelerin 100 nanometreden daha küçük boyutlarda işlenmesi, ölçülmesi, tasarlanması, modellemesi ve düzenlenmesiyle atom ve molekül seviyesinde gelişmiş veya tamamen yeni fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler kazanmayı amaçlayan hızla gelişen bir bilim ve teknoloji alanıdır [5]. Bu nano yapıların yeni fonksiyonel özellikler taşıması nedeniyle nanoteknoloji alanına olan ilgi artmış, böylece bu alandaki araştırmalar son yıllarda hızla artış göstermiştir. Son yıllarda gıda ve tarım sektöründe nanoteknoloji ürünlerinin potansiyel kullanımına yönelik ilgi sürekli artış göstermektedir [1].

Gıda güvenliği alanında elde edilebilecek iyileşmeler ve tarım girdilerindeki azalma, ambalaj teknolojisinde sağlanabilecek gelişmeler, işleme teknolojisinin ilerlemesi ve besin değerlerinin artırılmasına kadar, tarım ve gıda sektörlerinde nanoteknoloji çalışmaları gelişmekte ve ticarileşmektedir [7]. Nanoteknoloji sayesinde, gıda içeriğindeki çeşitli maddeler moleküler düzeyde istenilen özelliklere göre tasarlanabilir ve kontrol edilebilir; ayrıca, gıdanın duyuusal ve mekanik özelliklerini geliştirmek için farklı aroma, besin öğeleri ve renk taşıyan nanoyapıların eklenmesi sağlanabilir [8].

2.1.1 Gıda alanında nanoteknolojik uygulamalar

Son yıllarda tüketiciler yüksek kalitede, doğal, taze, mikrobiyolojik açıdan güvenli, koruyucu ve katkı maddesi içermeyen, raf ömrü uzun gıdaları tüketmek istemektedirler. Bu nedenle gıdaların daha uzun ömürlü ve kaliteli olmasını sağlamak amacıyla günümüzde nanoteknoloji alanındaki çalışmalara ağırlık verilmiştir [9]. Gıda ambalajlama teknolojisi, gıda güvenliği göz önüne alınarak yapılan çalışmalarla gıdanın besin değerinin artırılması ve işleme teknolojilerinin geliştirilmesi yönünde nanoteknoloji kullanımları geliştirilmektedir [10].

Nanoteknoloji uygulamaları kullanılarak üretilen nanoparçacıklar ile gıda maddelerine tekstür ve aroma gibi istenilen özelliklerin kazandırılması sağlanabilmektedir. Nanoparçacıkların gıda ambalajlarında kullanılması ile ambalajların çevre koşullarına karşı daha dayanıklı, esnek, ışığa ve gazlara karşı koruyucu özellik kazanması sağlanmaktadır. Özellikle antimikrobiyal paketleme, biyobozunur malzemeler ve yenilebilir filmler ile gıdaların güvenilirliği ve raf ömrü güvence altına alınmaktadır. Akıllı ambalajlar ve nanosensörler ile gıdalardaki bozulma belirtileri önceden tespit edilebilmektedir [11]. Nanoteknolojinin gıda alanında uygulamaları dört ana başlık altında ifade edilebilir. Bunlar, gıda işleme ve fonksiyonel ürün geliştirilmesi; biyoaktif maddelerin ve nutrasötiklerin taşınması ve kontrollü salımı; patojenlerin tespiti ve gıda güvenliğinin artırılması, ürün kalitesi ve raf ömrünü olumlu yönde etkileyecek paketleme sistemlerinin geliştirilmesidir [9]. Örneğin, nanoparçacıklar, besinlerdeki aroma ve tekstür gibi özelliklerin iyileştirilmesinde, nanolipid taşıyıcılar ise biyoaktif bileşiklerin etkin bir şekilde taşınması ve kontrollü salımında etkili olmaktadır. Ayrıca, gıda ambalajlama teknolojisinde nanoteknolojik uygulamalar, ambalajların daha dayanıklı ve çevre dostu olmasını sağlayarak gıdaların daha uzun süre taze kalmasına olanak tanımaktadır. Bu uygulamalarla gıdaların bozulma sürecini izleyebilen akıllı ambalaj sistemleri ve nanosensörler gibi yenilikçi çözümler geliştirilmektedir. Nanoteknolojinin sunduğu bu yenilikler, gıda endüstrisinde hem kalite hem de güvenlik açısından önemli avantajlar sağlamaktadır [8].

2.2 Biyopolimerler

Biyo-tabanlı polimerler, yenilenebilir kaynaklardan üretilen malzemelerdir. Bu malzemeler, fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından doğada parçalanabilir olarak

tanımlanır. Biyopolimerler bazı aerobik ve anaerobik işlemlere, mikroorganizmalara veya suya maruz kaldıklarında tamamen parçalanabilmektedir. Biyo-tabanlı polimerler, fosil yakıtlara olan bağımlılığı düşürerek ve dolayısıyla azaltılmış karbondioksit emisyonları gibi olumlu çevresel etkilerle önemli katkılarda bulunurlar [12].

Sonuç olarak, petrol kökenli hammadde malzemelerini yenilenebilir kaynaklara dayalı malzemelerle değiştirme talebi dünya çapında artmaktadır. Bunlar doğal veya sentetik olabilir, ancak çevresel endişeler ve fosil yakıtların tükenmesi nedeniyle nişasta, selüloz ve soya proteini gibi yenilenebilir doğal kaynaklardan biyobozunur polimerler ve plastik malzemeler geliştirmek için yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen en önemli biyobozunur polimer polilaktik asittir. PLA'nın avantajları ve dezavantajları Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

2.2.1 Polilaktik asit (PLA)

Çoğu polimerik malzeme petrol bazlıdır ve çevrede biyobozunur olmayan atık ürünlerdir. Son yıllarda, petrol bazlı polimerlerin üretimi kullanımı, çevresel kaygılar nedeniyle dünya genelinde eleştirilmiştir. Bu nedenle, araştırmalar yenilenebilir kaynaklardan yapılan çevre dostu bir ürün geliştirmeye odaklanmıştır. Ayrıca, bunlar kompostlanabilir ve biyobozunur özelliktedirler. Polilaktik asit (PLA), mısır, şeker kamışı ve buğday gibi yenilenebilir doğal kaynakların fermantasyonu sırasında üretilen laktik asitten yapılan biyobozunur doğrusal zincir yapısına termoplastik alifatik bir polyesterdir. Çevre dostu, biyolojik uyumluluk ve biyobozunurluk özelliklerine sahip olması nedeniyle ambalaj, tek kullanımlık ürünler, biyomedikal, farmasötik ve tekstil endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. PLA, ticari olarak bulunabilir olması, güçlü mekanik özelliklere sahip olması ve olağanüstü işlenebilirliği nedeniyle en umut verici biyo-tabanlı polimerdir [13]. Doğal koşullarda ve endüstriyel kompostlama tesislerinde biyolojik olarak parçalanabilir, bu da çevresel atık yönetiminde avantaj sağlar. Gıda ambalajında ve tıbbi uygulamalarda kullanımı güvenli kabul edilir. Düşük toksisiteli ve biyoyumlu olması nedeniyle geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir. Yüksek şeffaflık, iyi mekanik özellikler (örneğin, yüksek mukavemet ve sertlik) ve termoplastik özelliklere sahiptir. Bununla birlikte, diğer mühendislik plastiklerine kıyasla daha düşük ısı direncine sahiptir. PLA, gıda kapları, poşetler, film kaplamalar gibi çeşitli gıda ambalajı uygulamalarında yaygın

olarak kullanılır. Biyobozunabilirliği sayesinde tek kullanımlık ürünlerde avantaj sağlar. Bitkilerin ve şekerin fermantasyonuyla oluşan laktik asidin polimerizasyonu, %100 biyobozunur ve doğal kökenli olan alifatik bir poliester olan polilaktik asit üretir [14]. Biyobozunur olması nedeniyle, PLA umut vaat eden bir polyesterdir ve yenilebilir kaynaklardan üretildiği için çevre dostu bir polimer olarak pazarlanır [16].

Çizelge 2.1 : Polilaktik asitin avantajları ve dezavantajları.

POLİMER	AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
Polilaktik Asit	<ul style="list-style-type: none"> • %100 Biyolojik olarak parçalanabilir. • Çevre dostu. • Biyolojik olarak kompostlanabilir. • Mekanik ve fiziki özellikleri iyidir. • Parlaklık ve şeffaflığı iyidir. • Toksik değildir. • Antibakteriyel ve anti-fungal özelliği vardır. • İşlenmesi kolaydır. • Yenilebilir kaynaklardan elde edilebilir. • Petrol bazlı polimerlerle harmanlanmıştır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Yüksek maliyet • Düşük ısı direnci. • Düşük erime noktası. • Darbe dayanımı ve sertliği zayıftır • Nem ve oksijen geçirgenliği fazladır. • Yüksek sıcaklıktaki ortamlar için uygun değildir. • Uzun süreli gıda depolamasında kullanıma uygun değildir.

PLA, çevresel sürdürülebilirliği destekleyen yenilikçi bir malzeme olarak, hem sanayi hem de günlük yaşamda plastiklerin yerini alabilecek bir potansiyele sahiptir.

2.3 Nanolifler

Nanolifler, bir nanometre ile bir mikrometre arasında genişliğe sahip ince liflerdir. Bu lifler, genellikle yüksek yüzey alanı/hacim oranına sahip oldukları için farklı alanlarda önemli uygulamalara sahiptir [14]. Gözle görünebilmesi büyütme işlemi olmadan mümkün değildir. Nanolifler, özgün uygulamalara sahip materyallerin mikro ve nano yapısal özellikleri bulunması nedeniyle son yıllarda giderek önem kazanan bir araştırma konusu haline gelmişlerdir.

Nanolifler, yüksek gözeneklilik, gözenek boyutlarının kontrol imkânı, yumuşak ve iyi bir tutum, çok yüksek yüzey alanı ve düşük özgül ağırlık göstermesi ile biyomedikal, ilaç, yara tedavisi, uzay teknolojileri gibi pek çok uygulama alanında avantaj sağlamaktadır. Ancak çözücülerin gıda kaynaklı komponentlerden üretilmemesi dolayısıyla gıda güvenliği standartlarına uygun olmaması sebebiyle gıda endüstrisi uygulamalarında nanoliflerin kullanımıyla ilgili yeterince çalışma bulunmamaktadır. Nanoliflerin üretildikleri hammaddelerin içeriğine göre çeşitli fizikokimyasal etkiler gösterebilmesine bağlı olarak farklı özellikler kazandırmak için uygun bileşenler kullanılarak nanolif yapısı geliştirilebilmektedir [16].

2.3.1 Nanolif üretim yöntemleri

2.3.1.1 Elektro eğirme (elektrospinnig) yöntemi

Elektroeğirme yöntemi, polimerler, kompozitler ve seramikler gibi çok çeşitli materyallerden ultra ince lifler oluşturmak için kullanılan sıvı polimerlerin topraklanmış bir yüzey üzerinde sürekli lif formunda konumlanması esasına dayanır. Bu yöntemle, çapları 3 nm'den 1 mikron ve üzerine kadar değişen kalınlıklarda nanoliflerin pek çok polimerden başarı ile elde edildiğinden söz edilmektedir [17]. Elektroeğirme farklı alanlarda kullanılabilme özelliği sayesinde çok dikkat çekmekte ve yapılan çalışmaları gün geçtikçe katlanmaktadır [18]. Şekil 2.1'de elektro eğirme yöntemi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.1 : Elektro eğirme yönteminin şematik gösterimi.

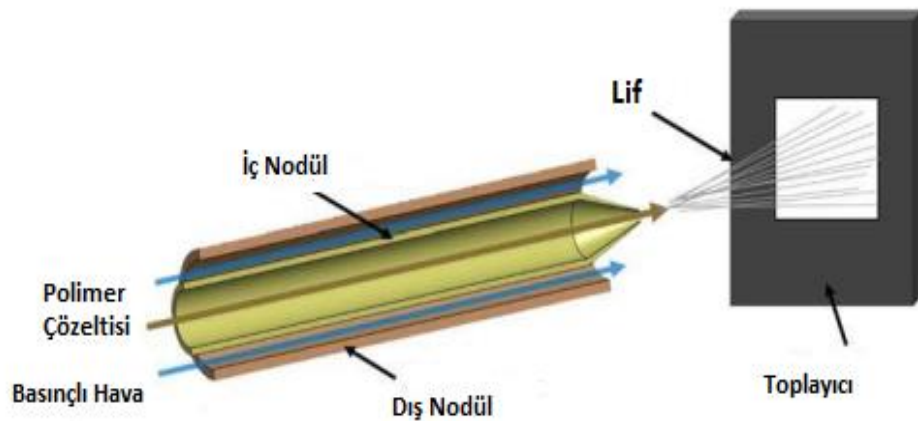
Elektroeğirme metodunda ilk olarak polimerlerin eklendiği solüsyonlar hazırlanmalıdır. Hazırlanan solüsyon, şırıngaya koyularak elektroeğirme cihazında

kullanıma koyulabilir. Solüsyon cihaza koyulduktan sonra besleme hızı belirlenir. Gerilim değeri girilir. Gerilimin tam ayarlanamaması iğne ucunda topaklanmalara, liflerde kopmalara sebebiyet verebilir.

Bu yöntemde uygun solüsyon hazırlanır ve elektrik alanına bırakıldığında içerisindeki moleküller birbirini itmeye başlar. Bunun sonucunda solüsyon katılarak uzamaya başlar ve ipliksi fiberler elde edilmiş olur [18]. Elektro eğirmede şırıngaya konan solüsyon, besleme hızının ayarlanmasıyla ve elektrik alanın etkisiyle iğne ucundan damlacık şeklini alır. Bundan sonra taylor konisi oluşarak lif üretimi gerçekleşir. Tamburda toplanan lifler nano boyutta çaplara kadar üretilebilirler [18]. Elektro eğirme yönteminin büyük bir elektrik alanına ihtiyaç duyması, iletken bir toplayıcı aracılığıyla işlemin yapılması ve yavaş lif üretim hızına sahip olması nedeniyle bu yöntemin ticari kullanımı pek yaygın değildir [20].

2.3.1.2 Çözelti üfleli eğirme (solution blow spinning) yöntemi

Çözelti üfleli eğirme yöntemi, ince nanoliflerin üretiminde yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Bu yöntemde, polimer veya polimer karışımı çözeltisi bir uçtan püskürtülürken, diğer uçtan yüksek bir basınç uygulanır. Bu şekilde, çözelti püskürtme iğnesinden geçerken, elektrostatik etkileşimlerden dolayı bir jet oluşur. Jet, uygulanan gerilimle çekilir ve bir toplayıcıya yönlendirilir, burada nanolifler oluşturur. Şekil 2.2'de çözelti üfleli eğirme yöntemi şematik olarak gösterilmektedir



Şekil 2.2 : Çözelti üfleli eğirme yönteminin şematik gösterimi.

Bu yöntemle, çeşitli polimerlerin yanı sıra çözeltilere farklı katkı maddeleri de eklenebilir, bu da nanoliflerin özelliklerini değiştirmeye olanak tanır [19]. Nanolif

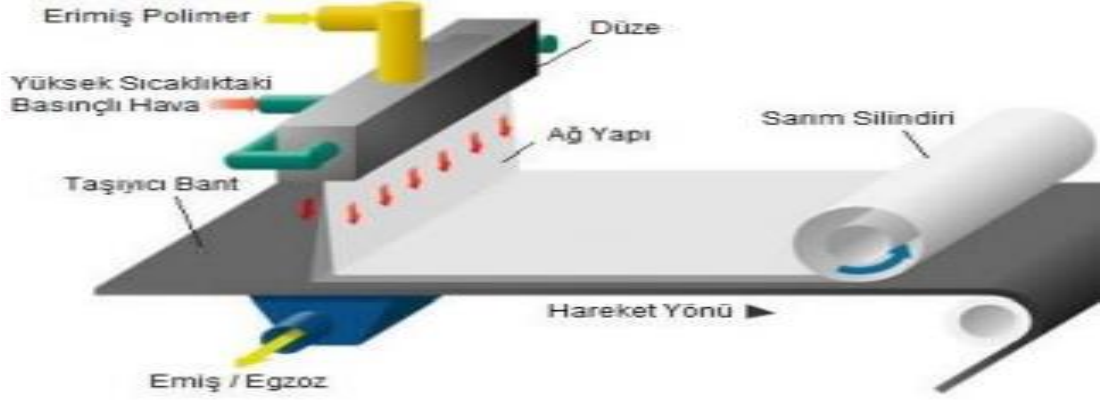
üretiminde çözelti üfleme yöntemi yeni bir yaklaşımdır. Bu yöntemin nanolif üretim miktarının yüksek olması, elektrik alanına ihtiyaç olmaması ve güvenlik açısından ek bir tedbire ihtiyaç duyulmaması yöntemin üretim ve işletme maliyetlerini düşürmektedir [23].

2.3.1.3 Santrifüj eğirme yöntemi (Centrifugal spinning)

Santrifüj eğirme, çeşitli polimerik malzemelerden nanoliflerin düşük maliyetle üretilmesi için ek bir yöntem olarak kabul edilebilir. Bu yöntemde, polimer çözeltisi dönen bir eğirme başına eklenerek, başın dönme hızı kritik bir değere ulaştığında, bir santrifüj kuvvet elde edilir. Jet oluşumu, başın dönme hızının polimer çözeltisinin yüzey gerilimini yenmesiyle gerçekleşir. Santrifüj eğirme, çeşitli uygulamalarda hızlı nanolif üretimine izin vermekte ve kolay bir çalışma mekanizmasına sağlamaktadır. Bu yaklaşımın standart elektroegirme ile ana farkı, elektroegirmenin elektrik alanının santrifüj kuvvet tarafından değiştirilmiş olmasıdır. Bu teknikte, polimer çözeltisi veya eriği içeren dönen başın hızı kritik bir noktaya ulaştığında, santrifüj kuvvet yüzey gerilimini yenmek için yeterince yüksek olacak ve böylece sıvı jet nozülünden püskürtülecek ve ardından çözücü, germe işlemi sırasında buharlaştığı için nanolifler toplayıcıya birikecektir. Bu yöntem eski bir endüstriyel üretim sistemi olmakla beraber cam elyafı üretiminde uzun süredir kullanılmaktadır [24]. Santrifüj olarak eğirilen nanoliflerin geometrisi ve morfolojisini belirleyen birkaç faktör vardır; bunlar ısıtılmış yapıların dönme hızı, nozül konfigürasyonu, toplama sistemi (toplama mesafesi gibi) ve sıcaklıktır [25].

2.3.1.4 Eriyik üfleme yöntemi (Melt blowing)

Eriyik üfleme yöntemi (Melt blowing), nanoliflerin üretiminde yaygın olarak tercih edilen bir yöntemdir. Küçük çaplı lif üretimi için kullanılır. Çözücü gerektirmeyen bir yöntem olduğu için daha kullanışlıdır ve bu yöntem birçok farklı polimerle kullanılabilir. Şekil 2.3'de yöntem anlatılmıştır. Lifleri çekmek için sıcaklıktan yararlanılır. Çekilen liflere soğuk hava verilerek katılma sağlanır [26].

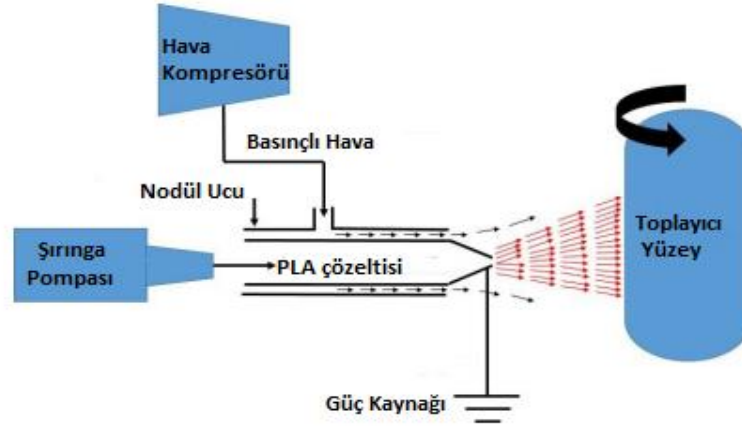


Şekil 2.3 : Meltblown eriyik püskürtme tekniğinin şematik görünümü.

Polimer veya polimer karışımı eritilir ve yüksek hızda bir nozul aracılığıyla püskürtülür. Püskürtülen eriyik, taşıyıcı bir gaz akışıyla hızlandırılarak uzun ve ince lifler oluşturmak üzere bir toplayıcıya yönlendirilir. Bu yöntem, çeşitli polimerlerin nanoliflerini üretmek için çok yönlüdür ve özellikle tekstil, biyomedikal, filtreleme ve malzeme bilimi gibi alanlarda geniş uygulama potansiyeline sahiptir [28]. Bu yöntem ile elde edilen liflerin çapları 0,1 μm ile 20 μm arasında değişmektedir. Eriyik üfleme tekniği ile yüksek hızlı sıcak hava ve filamentler düzelerden fibrilli bir tülbent oluşturmak üzere çekim sistemine tabi tutulurlar. Bu işlem genellikle dokusuz kumaş üretiminde kullanılan yaygın bir yöntemdir [29].

2.4 Elektro Üfleme Yöntemi (Electro Blown)

Üretim yöntemleri arasında en çok tercih edilen yöntem elektro eğirme yöntemidir [18]. Ancak bu yöntem düşük üretim hızı, yüksek elektrik tüketimi vb. gibi bazı dezavantajlara sahiptir [19]. Elektro üfleme yöntemi ise kolayca endüstriye ölçeklendirilebilir ve nozul başına üretim kapasitesi yüksektir. Elektro Üfleme Yöntemi (EBS), eriyikten üfleme ve elektro eğirme sistemlerin birleştirildiği ya da SBS'ye yüksek voltajlı güç kaynağının dahil edildiği sistem olarak tanımlanabilir [30]. Bu yöntemde, çözeltilen üfleme yönteminde olduğu gibi polimer önce bir çözücü içinde çözülür ve daha sonra şırıngaya çekilerek şırınga pompasına yerleştirilir. Polimer çözeltisi ve basınçlı hava hat yardımıyla nozüle beslenir. Basınçlı hava ve nozülün uç kısmından uygulanan voltaj yardımıyla topraklanmış toplayıcı yüzey üzerinde nano ve mikro boyutlu lifler oluşturulur (Şekil 2.4) [31].



Şekil 2.4 : Elektro üfleme eğirme yönteminin çalışma prensibi.

Eriyikten üfleme ve çözülden üfleme yöntemleri lif oluşumu için basınçlı havayı kullanırken, elektro üfleme yöntemi farklı olarak elektrostatik alandan da faydalanmış ve böylece daha küçük çaplı, düzgün gerilmiş ve homojen lif dağılımına sahip nanoliflerin elde edilmesi hedeflenmiştir [31].

Elektro-üfleme eğirme, hava üflemeyle desteklenen bir elektro-eğirme işlemi olup, elektro eğirme ve eriyik üfleme birleştirilerek polimerik nano lifleri hem çözümlerden hem de eriyiklerden işler [29]. Elektro üfleme eğirme yöntemi ek bir çekme kuvveti olarak elektrik voltajı güç kaynağı ilavesiyle bir çözülden üfleme ile lif üretimi tekniği ile benzer prensibe sahiptir. Bu sistem, elektro üfleme yönteminin diğer üretim sistemlerine göre daha ince lif elde etme avantajı ile çözülden üfleme yönteminin yüksek üretim verimliliği avantajını tek bir kurulumda bir araya getirmektedir. Liflerin toplandığı yüzey topraklanırken, nozulun ucu güç kaynağına bağlanır. Çözümü üfleme için gerekli olan gaz rezervuarı hava veya azot gazlarından oluşur. Çözümü incelterek polimer jeli oluşumu ve toplayıcıda lif biriktirme işlemi için iki etkin parametre vardır. Bunlar elektrik voltajı ve hava basıncıdır. Hava basıncı, polimer çözülmesinin akış hızını ve liflerin kalınlık ile uzunluğunu etkileyerek düzgün bir formasyon sağlar; ayrıca kuruma sürecini hızlandırır. Elektrik voltajı ise, elektrostatik çekim kuvvetini artırarak liflerin incelmeye ve uzamasına yardımcı olur, bu da düzgün ve homojen yapılar elde edilmesini sağlar. Her iki faktörün optimizasyonu, istenen fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip liflerin üretimi için önemlidir [32].

2.4.1 Elektro üfleme yöntemi etkileyen parametreler

Elektro üfleme yöntemiyle nanolif üretebilmek için hem elektro üretim yönteminin hem de çözeltiden üfleme yönteminin üretim parametreleri biraraya getirilmiştir. Lif oluşumu üzerinde bu parametrelerinin her birinin ayrı etkisi bulunmaktadır.

Elektro üfleme yöntemiyle nanolif üretiminde çözücünün çözeltiden uzaklaştırılıp lif oluşmasında etkili olan bazı parametreler vardır. Bunlar arasında en önemli ikisi yüzey gerilimi ve dielektrik sabitidir. Yüzey gerilimi gaz basıncının çözücünün çözeltiden uzaklaştırılmasında, dielektrik sabitinin yüksek olması ise, iletkenliği artırarak elektrik voltajının etkisi ile polimer jeti oluşturarak liflerin oluşmasını olumlu yönde etkilemektedir [33]. Bu konuda yapılan bir çalışmada, hyaluronik asitli (HA) nanolifin elektro-üfleme eğirme tekniğiyle üretilmesinde hava üfleme hızı, HA konsantrasyonu, HA çözeltisinin besleme hızı, uygulanan voltaj alanı ve toplayıcı çeşidi gibi çeşitli deneysel parametrelerin, HA çözeltisinin üfleme destekli elektroüfleme performansı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır [34].

Çizelge 2.2 : Elektro üfleme yöntemi etkileyen parametreler.

PARAMETRE VE ÖZELLİKLER			
Malzeme	Proses	Sistem	Ortam
Viskozite	Nozul ile toplayıcı arasındaki mesafe	Nozul çapı	Sıcaklık
Moleküler ağırlık	Besleme hızı	Hava nozulunun çapı	Nem
Polimer konsantrasyonu	Toplayıcının devri	Polarite	Atmosfer basıncı
Yüzey gerilimi	Nozulun bulunduğu kolun yanal hareketi		
Buharlaşma basıncı			
İletkenlik			
Elektrik voltajı			

2.4.1.1 Yüzey gerilimi

Yüzey gerilimi, bir sıvının yüzeyini gergin tutan kuvvet olarak açıklanabilir. Bu kuvvet, sıvıyı yüzeyinden içeriye doğru çekerek yüzey alanını minimize etmeye çalışmakta, böylece sıvının yüzeyindeki moleküller, yüzey gerilimi sayesinde bir araya gelerek küresel yapılar oluşturmaktadır. Yüksek yüzey gerilimi, polimer jetlerinin oluşması sırasında hava basıncı ve elektrik alanı etkisiyle çözeltinin yüzey gerilimini aşamayıp toplayıcı üzerinde damlacıkların meydana gelmesine yol açabilmektedir. Buna karşın, düşük yüzey gerilimine sahip çözücüler kullanıldığında yüzey gerilimi azalmakta, bu da daha homojen ve düzgün liflerin elde edilmesini sağlamaktadır [34].

2.4.1.2 Dielektrik sabiti

Bir malzemenin elektrik yükü depolama kapasitesi, dielektrik sabiti ismi ile adlandırılmaktadır. Bu konu, elektro üretim tekniklerinde lif üretimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Dielektrik sabitinin yüksek olduğu çözeltilerde, polimer jetinin yüzeyindeki yük ise düzgün bir şekilde dağılarak nanolif üretimini olumlu yönde etkilemektedir. Dielektrik sabiti yüksek çözeltiler kullanıldığında, biriktirme alanında damlacık oluşumu azalmakta ve lif çapları daha küçük olmaktadır. Örneğin, yapılan çalışmada, PEO (polietilen oksit) polimeri, başka dielektrik sabitine sahip çözücülerde çözündürülmüş ve elektro üretim yöntemiyle lifler elde edilmiştir. Çözeltinin dielektrik sabitinin artması, ortalama lif çapının azalmasına neden olmuştur. Başka bir çalışmada ise, çeşitli dielektrik sabitlerine sahip çözücülerle hazırlanan çözeltilerin elektro üretim yöntemiyle elde edilen liflerin morfolojisi üzerindeki etkileri araştırılmış ve dielektrik sabiti yüksek çözücülerin kullanıldığı çözeltilerle yapılan üretimlerde, lif üretim verimliliğinin (birim zamanda birim alanda toplanan lif miktarı) arttığı tespit edilmiştir [35].

2.5 Nanoliflerin Gıda Ambalajı Olarak Kullanılması

Nanolifler, akıllı ve aktif ambalaj sistemlerinin geliştirilmesinde büyük bir potansiyel sunmaktadır. Özellikle curcumin ve antosiyanin gibi biyoaktif bileşenler içeren nanolifler, gıdaların kalitesini korumak için antioksidan ve antimikrobiyal özellikler sağlamaktadır. Bu nanolifler, gıdalardaki mikrobiyal büyümeyi önleyebilir ve oksidasyon süreçlerini yavaşlatarak bozulmayı geciktirebilir. Ayrıca, çevresel

değişimlere tepki veren ve gıdaların tazeliği hakkında görsel uyarılar sağlayan akıllı ambalaj çözümlerinde kullanılabilirler [36]. Nanoliflerde biyoaktif bileşenlerin enkapsülasyonu, gıda ambalajlama teknolojisinde önemli bir gelişme olarak değerlendirilmektedir. Bu yöntem, fenolik bileşikler ve uçucu yağlar gibi hassas bileşenlerin korunmasını ve kontrollü salınımını sağlar. Örneğin, kitosan ve pullulan gibi biyopolimerlerden yapılan elektro-eğirilmiş nanolifler, doğal antioksidanları kapsülleyerek bu bileşiklerin çevresel bozunmaya karşı korunmasını ve kontrollü bir şekilde salınmasını mümkün kılmakta, bu da ambalajlanan gıdanın raf ömrünü uzatmakta ve besin değerini korumaktadır [37]. Nanomalzemeler, gıda ambalajlarında sundukları üstün özellikler nedeniyle giderek daha fazla tercih edilmektedir. Bu malzemeler, gelişmiş bariyer özellikleri, mekanik dayanım ve antimikrobiyal aktivite gibi fonksiyonel özellikler sunar. Örneğin, gümüş nanoparçacıkları, nano-selüloz ve çeşitli biyopolimer kompozitler, mikrobiyal büyümeyi etkili bir şekilde engelleyebilmekte ve oksijen ile neme karşı daha iyi koruma sağlayarak gıdaların bozulmasını önleyebilmektedir. Ayrıca, bu nanomalzemelerin biyobozunur ambalaj çözümlerine entegrasyonu, gıda endüstrisinde sürdürülebilir ve çevre dostu ambalaj taleplerini karşılamada önemlidir [38,39,40].

Gıda ambalajlamasında nanoliflerin kullanımına dair çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu araştırmalar, nanoteknolojik malzemelerin gıdaların raf ömrünü uzatma ve kalitesini koruma konusundaki önemli katkılarını ortaya koymaktadır. Nanoteknolojik ambalajlar, gıdaların bozulmasını geciktirirken, aynı zamanda patojenlerin büyümesini engelleyen antimikrobiyal özellikler de sunmaktadır. Örneğin, gümüş ve çinko oksit (ZnO) nanoparçacıkları içeren ambalaj malzemeleri, gıdalarda bakteri ve küf oluşumunu engelleyerek raf ömrünü uzatmaktadır. Bu tür nanokompozit malzemeler, özellikle meyve ve sebzelerin tazeliğini koruma ve kalitesini sürdürme açısından önemlidir [41]. Bir diğer önemli araştırma, inorganik nanopartiküllerin kullanımıyla ilgilidir. Çalışmalar, nanoteknolojik gıda ambalajlarının oksijen geçirgenliğini azaltarak gıdaların oksidatif bozulmasını engellediğini ve nem kontrolü sağladığını göstermektedir. Örneğin, polietilen/gümüş oksit (PE/Ag₂O) nano ambalajların elma dilimlerinin kalitesini korumada etkili olduğu bulunmuştur. Bu nanopartiküller, gıdalardaki mikrobiyal bozulmayı azaltarak kaliteyi korumaya yardımcı olmaktadır. Nanolifler ve faz değişim materyalleri (PCM) gibi yenilikçi malzemeler, gıda ambalajlarında enerji tasarrufu ve termal yönetim sağlamak

amacıyla da kullanılmaktadır. PCM'ler, belirli sıcaklık aralıklarında ısı depolayarak gıdaların ideal sıcaklıkta saklanmasını sağlamaktadır. Örneğin, nano-grafit/parafin karışımı faz değişim materyallerinin, gıda ambalajlarında ısı yönetimini geliştirdiği ve gıdaların kalitesini korumada etkili olduğu gösterilmiştir [41].

Nanoliflerin gıda ambalajı olarak kullanımı üzerine yapılan çeşitli çalışmalar, nanoliflerin üstün özelliklerinden yararlanarak çevre dostu ve biyobozunur ambalaj malzemeleri geliştirilmesine odaklanmaktadır. Örneğin, bir çalışmada elektro üfleme yöntemiyle üretilen dekstran/zein nanoliflerinin, Maillard reaksiyonu ile çapraz bağlanarak gıda ambalajı olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu çalışmada, hava üfleme tekniğinin geleneksel elektro-eğirme yöntemine kıyasla örnek hazırlama hızını on kat artırdığı bulunmuştur. Çapraz bağlama işlemi, liflerin mekanik özelliklerini iyileştirmiş ve su buharı geçirgenliğini artırmıştır, bu da onları biyoaktif bileşenlerin enkapsülasyonu için uygun hale getirmiştir [42]. Başka bir çalışma, elektro üfleme yöntemiyle üretilen jelatin/mantar ekstresi içeren nanoliflerin aktif gıda ambalajı olarak kullanılabilirliğini değerlendirmiştir. Bu nanolifler, antioksidan ve antimikrobiyal özellikleri ile öne çıkmıştır. pH'a duyarlı ve antioksidan özellikler sağlayan bu ambalaj filmleri, karragenan ve dut polifenolik ekstraktları kullanılarak geliştirilmiş ve gıdaların raf ömrünü uzatmada etkili olmuştur [43]. Elektro-blowing yöntemiyle üretilen jelatin-kitosan nanoliflerinin, okaliptüs esansiyel yağı ile işlevsel hale getirilerek aktif gıda ambalajı ve yara örtüsü olarak potansiyel kullanımlarının incelendiği bir araştırmada, okaliptüs yağının antioksidan ve antibakteriyel özelliklerinin nanoliflere dahil edilmesiyle biyobozunur ambalaj malzemeleri üretme potansiyeline sahip olabileceğini göstermiştir [44].

Esansiyel yağ içeren nanoliflerle ilgili çeşitli çalışmalar, gıda ambalajı ve biyomedikal uygulamalarda bu tür nanoliflerin kullanım potansiyelini göstermektedir. Örneğin, polilaktik asit (PLA) nanolifleri ile kaplanan esansiyel yağlar, üzüm gibi gıda ürünlerinde küf gelişmesini engelleyebilmekte ve ürünün raf ömrünü uzatabilmektedir. Bu tür ambalajlar, özellikle *Aspergillus niger* ve *Aspergillus carbonarius* gibi küflerin büyümesini inhibe edebilir ve ürünlerin kalitesini korumada etkili olabilir. PLA nanolifleri içerisinde %10 ve %20 oranında *Cymbopogon flexuosus* ve *Aniba rosaeodora* gibi bitkisel yağlar kullanılarak yapılan çalışmalarda, üzümdeki küf gelişimlerinin azalması sağlanmıştır. Bu ambalaj malzemeleri, geleneksel sentetik fungusitlerin yerine geçebilecek potansiyel alternatifler olarak

değerlendirilmektedir [45]. *Origanum elongatum* uçucu yağının antimikrobiyal ajan olarak uygulandığı ve Elektro-blowing tekniği ile üretilen nanoliflerin *E.coli* ve *S.aureus* üzerinde antibakteriyel etki gösterdiği ifade edilmiştir. Ayrıca esansiyel yağ içeren nanoliflerin; domateslerin mikrobiyal yükünün azaltılması ve raf ömrü üzerindeki olumlu etki gösterdiği bildirilmiştir [46].

Esansiyel yağlar, gıda ambalajlarında koruyucu ve antimikrobiyal ajanlar olarak önemli bir potansiyele sahiptir. Elektro üfleme gibi tekniklerle üretilen nanolifler, esansiyel yağların düşük maliyet, geniş yüzey-hacim oranı ve yüksek verim gibi avantajlarla birleştirilmesini sağlamaktadır. Bu nanolifler, gıda maddelerini oksidatif hasarlardan koruyabilir ve mikroorganizma büyümesini engelleyerek gıda güvenliğini artırabilmektedir [47]. Yapılan çalışmalar, esansiyel yağ içeren nanoliflerin gıda ambalajlarında kullanım potansiyelini ve bu alandaki yenilikçi araştırmaları göstermektedir.

Nanoliflerin gıda ambalajlarındaki avantajlarına rağmen, bu malzemelerin güvenliği ve çevresel etkileri konusunda bazı endişeler bulunmaktadır. Özellikle gümüş ve çinko oksit gibi nanoparçacıkların gıdaya geçişi ve tüketiciler üzerindeki potansiyel toksik etkileri konusunda endişeler mevcuttur. Ayrıca, nanomalzemelerin uzun vadeli çevresel etkileri tam olarak anlaşılmamıştır. Bu nedenle, nanoteknolojinin gıda ambalajlarında kullanımı sırasında tüketici güvenliği ve çevresel sürdürülebilirlik konularında kapsamlı güvenlik değerlendirmelerine ve düzenlemelere ihtiyaç duyulmaktadır [48]. Nanolif bazlı gıda ambalajlarının geleceği, birden fazla fonksiyon sunabilen daha gelişmiş malzemelerin geliştirilmesine bağlıdır. Gıda kalitesinin gerçek zamanlı izlenmesini sağlayacak sensörlerin entegrasyonu ve gıda ortamındaki değişikliklere tepki verebilen akıllı malzemelerin kullanımı, umut verici araştırma alanları arasında yer almaktadır. Ancak, bu teknolojinin gıda ambalajı endüstrisinde tam anlamıyla kullanılabilmesi için, büyük ölçekli üretim, maliyet etkinliği ve yasal engeller gibi zorlukların aşılması [49]. Sonuç olarak, nanolif bazlı gıda ambalajları, gıda endüstrisinde önemli bir dönüşüm sağlayarak gıda muhafazası ve güvenliği ile ilgili temel sorunlara çözümler sunmaktadır. Sürekli araştırma ve teknolojik gelişmelerle, bu yenilikçi malzemelerin gelecekte gıda ambalaj sistemlerinde daha yaygın hale gelmesi beklenmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Nanolif üretimi için kullanılan PLA (75,000 g/mol) Natureworks'ten (Minnetonka, MN, ABD) satın alınmıştır. Araştırmada kullanılan baharat karışımı (%46,880 kimyon, %46,870 kırmızı biber, %6,250 karabiber) yerel bir firmadan temin edilmiştir. Karışımdan uçucu yağ ekstraksiyonu Bursa Teknik Üniversitesi laboratuvarında Clevenger cihazı ile elde gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla 50 g. baharat karışımı distilasyon balonunda 500 g distile su ile karıştırılarak ve geri akış altında 5 saat kaynatılmıştır. Ekstrakte edilen uçucu yağlar, susuz sodyum sülfat ile dehidre edilmiş ve karanlık bir şişede 4 °C'de saklanmıştır.

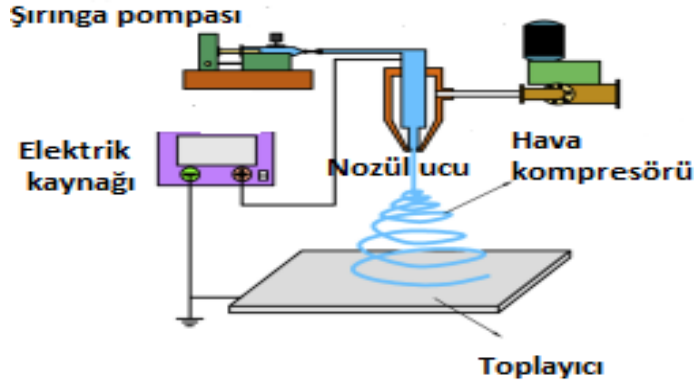
3.2 Yöntem

3.2.1 Polimer çözeltisinin hazırlanması

Elektro üfleli eğirme tekniği için besleme çözeltisi olarak 3:1 oranında %10 (w/v) diklorometan ve dimetil formamid içeren PLA çözeltisi hazırlanmıştır. Bu çözelti içerisine PLA ağırlığının %20, %25, %30, %35 oranlarında baharat karışımından elde edilen esansiyel yağ eklenerek manyetik karıştırıcıda (Termal, N11150 model. Türkiye) yaklaşık 30 dk karışması sağlanmış ve belirtilen oranlarda esansiyel yağ içeren besleme çözeltileri hazırlanmıştır. Üretime başlamak için elde edilen çözelti enjektöre 20 mL çekilerek enjektör pompasına (New Era, NE-4000 model, ABD) yerleştirilip sisteme besleme yapılmıştır [50].

3.2.2 Elektro üfleli eğirme ile nanolif üretimi

Elektro üfleli eğirme sistemi Şekil 3.1'de de görüldüğü gibi, hava kompresörü, güç kaynağı, şırınga pompası, püskürtme ucu ve toplayıcı olarak 5 bölümden oluşmaktadır.



Şekil 3.1 : Elektro üflemeli eğirme sistemi.

Öncelikle esansiyel yağ içermeyen PLA çözeltisi, daha sonra sırasıyla %20, %25, %30 ve %35 oranında esansiyel yağ içeren çözeltiler enjektöre 20 mL çekilerek besleme hızı 30 mL/h, hava basıncı 1 bar, güç kaynağı 25 kV ve püskürtme ucunun toplayıcıya olan uzaklığı 17 cm olacak şekilde dizayn edilerek üretim gerçekleştirilmiştir. Nanolif üretimi çeker ocak içinde 23⁰ C ve %55 nem oranında gerçekleştirilmiştir. Havanın nem oranını düşürmek için kompresörden gelen hava nem alma cihazından geçirilmiştir. İç nozul ile dış nozul arası mesafe 2 mm ve nozullar arasındaki mesafe 0,5 mm olarak ayarlanmıştır. Nanolif katmanlar alüminyum folyoya sarılarak kilitli dondurucu poşetinde desikatörde saklanmıştır.

3.2.3 Nanolif katmanların kalınlık ölçümleri

Üretilen tüm nanolif katmanların kalınlıkları en az 100 farklı noktadan ölçümler alınarak dijital mikrometre (IP 65, Mitutoyo, Japonya) ile yapılmıştır.

3.2.4 Nanolif katmanların mekanik özellik analizleri

Nanolif katmanların mekanik özellikleri TA-HD Plus Tekstür analiz cihazı (Stable Micro Systems Co, Ltd., Godalming, UK) ile belirlenmiştir. Nanolif katmanları her bir konsantrasyon için 1 cm x 8 cm boyutunda kesilerek cihazın çekme çenelerine sabitlenmiş ve çene arasındaki boşluk 6 cm olarak ayarlanmıştır. Her nanolif katmanı için 8 örnek kesilmiş ve prob hızı 2 mm/s olarak ayarlanarak kopma uzaması test edilmiştir. Patlama kuvveti analizi için 3 cm x 3 cm boyutunda örnekler alınarak 6 mm çapındaki bilyalı prob (SMS P/0,25S) ile 0,2 mm/s hızında patlatma uygulanmıştır. Nanolif katmanlar patladığı andaki kuvvet kaydedilmiştir ve örnekler en az üç kez test edilmiştir [51].

3.2.5 Nanolif katmanların su buharı geçirgenlik analizi

Daras alınan ölçüm kapları 25 g kuru silika ile doldurulup, silika ile temas etmeyecek şekilde test edilecek nanolif katmanlar yerleştirilerek ölçüm kabının ağzı sıkıca vidalanmıştır. Kaplar tartıldıktan sonra 23 ± 1 °C ve $\%95\pm 2$ bağıl nemde iklimlendirme kabinine (MIT-120, Mikrotest, Türkiye) yerleştirilmiştir. Sonrasında 30 dk ara ile 6 saat boyunca ölçümler alınmıştır. Su buharı geçirgenliği, denklemde verilen formüle göre hesaplanmıştır [51].

$$SBG = \frac{w}{t} \frac{x}{A \times P_0 \times \Delta RH} \quad (3.1)$$

w: kütle değişimi (g), A: filmin alanı (m^2), t: zaman (h), P_0 : test sıcaklığında suyun buhar basıncı (Pa), ΔRH : filmin her iki taraftaki relatif nem farkı

3.2.6 Nanolif katmanların suda çözünürlük analizi

Nanolif katmanların suda çözünürlüğünün belirlenmesinde, 20 mg nanolif örneği tartılmış ve 20 mL saf su içerisinde manyetik karıştırıcıda 24 saat süreyle karıştırılmıştır. Daha sonra karışım filtre kağıdı ile süzülerek 105 °C sıcaklıktaki etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Buharlaştırmadan sonra kalan kalıntıdan nanoliflerin suda çözünürlüğü denklem (3.2) kullanılarak hesaplanmıştır [50].

$$\text{Suda Çözünürlük (\%)} = \frac{(W_0 - W_1)}{W_0} \times 100 \quad (3.2)$$

W_0 = Nanolif katmanın ilk ağırlığı

W_1 = Nanolif katmanın kurutulmuş ağırlığı

3.2.7 Nanolif katmanların temas açısı analizi

Nanolif katmanlardan 2 cm x 2 cm boyutlarında bir yüzey kesilerek temas açısı ölçüm cihazına (Biolic Scientific, Attension Theta Flex, İsveç) yerleştirilmiştir. Daha sonra 5 μ L saf su nanolif katmanların yüzeyine damlatılarak suyun yüzeyle temas açısı cihaz yazılımı yardımıyla belirlenmiştir. Analizler Bursa Teknik Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı'ndan hizmet alımı yoluyla yapılmıştır.

3.2.8 Nanolif katmanların DSC ile termal özellikleri:

Esansiyel yağ ilave edilen nano-lifler için termal özellikleri diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) cihazı aracılığıyla belirlenmiştir. Analiz 20,0 mL/dak akış hızına sahip nitrojen gazı ile gerçekleştirilmiştir. Bu neden ile yaklaşık 5-10 mg nanolif örnekleri alüminyum kap içerisine alınarak kapatılmıştır. Örnekler 30 °C ile 200 °C arasında 10 °C/dak ısıtma hızında analiz edilmiştir. Sıkı kapatılan boş alüminyum kap referans olarak kullanılmıştır. Analizler Bursa Teknik Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı'ndan hizmet alımı yoluyla yapılmıştır.

3.2.9 Nanolif katmanların yapı tayini (FTIR) analizi

Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi cihazı (FTIR; Bruker, Alpha II, Almanya) kullanılarak nanolif katmanların 400- 4000 cm⁻¹ dalga sayısı aralığında moleküler bağ yapı spektrumları alınarak esansiyel yağların nanolif yapısına olan etkileri belirlenmiştir [51].

3.2.10 Nanoliflerin SEM ile morfolojik özellikleri

Nanolif katmanlardan kare boyurunda küçük örnekler kesilmiş ve örneklerin yüzeyi palladyum-altın karışımı ile kaplanmıştır. Nanolif katmanların morfolojik görüntüleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile belirlenmiştir. Nanolif yüzeyinden x3000 büyütme oranında görüntüler alınmıştır. Alınan görüntüler ise analiz edilmiş ve ortalama nanolif çapları hesaplanmıştır. Bu analiz Bursa Teknik Üniversitesi Merkezi Araştırma laboratuvarı'ndan hizmet alımı yoluyla yapılmıştır.

3.2.11 Nanolif katmanların antioksidan kapasitesi

Baharat karışımı esansiyel yağı ile zenginleştirilmiş nanolif katmanların antioksidan kapasitesini belirlemek için 2,2, difenil 1-pikri hidrazil (DPPH) yöntemi kullanılmış, bu amaçla 100 mg nanolif bir santrifüj tüpüne alınarak üzerine 5 mL metanol ilave edilmiş ve 2 saat boyunca 25 °C'de çalkalayıcı bir su banyosunda tutulmuştur. Nanolif katmanlardan alınan örnekler, 3,5 mL 0,06 mM DPPH ile karıştırılmış ve karanlık bir ortamda 30 dakika tutulmuştur. DPPH çözeltisinin indirgenme oranına göre nanoliflerin antioksidan kapasiteleri belirlenmiştir. Çözeltinin absorbanı bir

spektrofotometre (Rigol, Ultra 3660 model, India) ile 517 nm'de ölçülmüştür. Nanoliflerin antioksidan kapasitesi denklem 3.3 ile yüzde olarak hesaplanmıştır [52].

$$\% \text{ İnhibisyon} = \frac{A_{\text{kontrol}} - A_{\text{örnek}}}{A_{\text{kontrol}}} \times 100 \quad (3.3)$$

% İnhibisyon: Antioksidan Kapasite

Akontrol: Nanolif içermeyen DPPH çözeltisinin absorbans değeri

Aörnek: Nanolif içeren DPPH çözeltisinin absorbans değeri

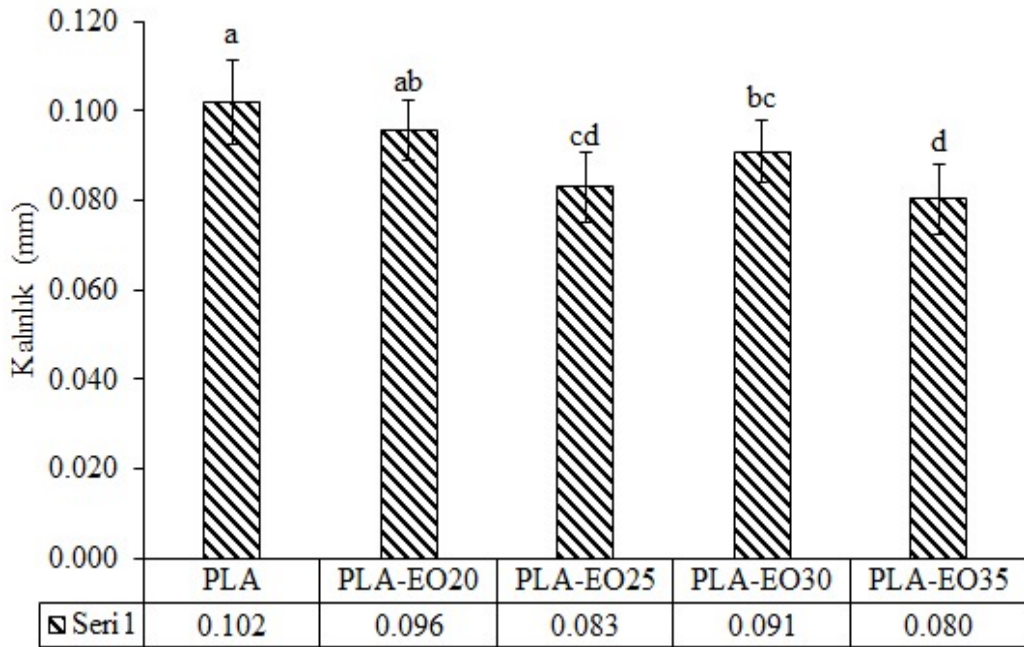
3.2.12 İstatiksel analizler

Veriler SPSS paket programı (IBM, SPSS v22, ABD) yardımıyla istatistiksel değerlendirmelere tabi tutulmuştur. Analiz sonuçları ortalama \pm standart sapma olarak ifade edilmiştir. Tek yönlü varyans analizi (ANOVA) kullanılmış ve örneklerin ortalamaları arasındaki önemli farklılıklar %95 güven düzeyinde Duncan çoklu karşılaştırma testi ile belirlenmiştir.

4. BULGULAR

4.1 Kalınlık

Üretilen nanolif katmanların aktif ambalaj malzemesi olarak değerlendirilebileceği düşünüldüğünden, nanolif katman kalınlığı gıdaya teması açısından önem arz etmektedir. Farklı konsantrasyonlarda esansiyel yağ içeren nanolif katmanların kalınlık ölçümleri Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Esansiyel yağ içeren nanolif katmanların kalınlık ölçümleri.

Toplayıcıda mat üzerinde elde edilen nanoliflerin kalınlık ölçümleri 0,102 mm ile 0,08 mm arasında değişkenlik göstermiştir. Şekil 4.1’den de görüleceği üzere esansiyel yağ konsantrasyonu arttıkça nanolif katmanların kalınlığında %25 esansiyel yağ oranına kadar azalmıştır. Ancak, esansiyel yağ oranındaki artışlar kalınlığın kısmen artmasına neden olmuş ve bu artış istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Bu durum muhtemelen esansiyel yağ moleküllerinin PLA polimer zinciri arasına girmesi ve zincir açılmalarına neden olarak daha düzgün ve ince yapıda nanolif katmanların elde edilmesiyle ilişkilendirilebilir.

4.2 Mekanik Özellikler

Gıda ambalaj malzemesinin en önemli özelliklerinden biri gıdayı çevresel etkenlerden koruyacak dayanımda olmasıdır. Bu sebepten dolayı gıda ambalaj malzemelerinde mekanik mukavemet testleri önem taşımaktadır. Mekanik dayanıklılık kontrolü için ambalaj malzemesinde kopma, delinme ve patlamaya karşı ölçümler yapılmaktadır. Nanolif katmanlarının mekanik analiz sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Farklı konsantrasyonlarda esansiyel yağ içeren PLA nanoliflerin mekanik özellikleri.

	KK (MPa)	KU (%)	PK (g)	PU (mm)
PLA	3,06±0,49 ^c	95,48±45,64 ^a	240,15±8,24 ^b	2,62±0,15 ^{bc}
PLA-EO20	2,98±0,30 ^c	149,84±8,27 ^b	258,79±54,05 ^a	3,71±0,97 ^a
PLA-EO25	3,50±0,22 ^b	131,01±5,2 ^b	300,39±47,52 ^a	2,84±0,49 ^b
PLA-EO30	3,86±0,30 ^a	134,67±5,67 ^b	315,59±87,23 ^a	2,88±0,77 ^b
PLA-EO35	3,52±0,28 ^b	137,89±6,83 ^b	173,74±36,2 ^b	1,86±0,29 ^c

Değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Aynı sütunda yer alan farklı üst simge harfler örnekler arasındaki istatistiksel farklılığı göstermektedir ($p < 0,05$). KK: Kopma kuvveti; KU: Kopma uzaması; PK: Patlatma kuvveti; PU: Patlatma uzaması.

Nanolif katmanların mekanik analiz sonuçlarına bakıldığında esansiyel yağ katkısının mekanik özelliklerde önemli değişikliklere sebep olduğu gözlemlenmiştir. Kopma kuvveti (KK) açısından, %30 esansiyel yağ katkılı nanolif en yüksek değeri (3,86 MPa) göstererek, materyalin dayanıklılığında önemli bir artış sağlamıştır. En düşük KK değeri ise 2,98 MPa ile %20 esansiyel yağ içeren nanolif katmanlarında tespit edilmiştir. Esansiyel yağ oranı %35 seviyesine çıktığında nanolif katmanların KK değerleri istatistiksel olarak önemli azalma göstermiştir. Genel olarak bakıldığında nanolif yapısına esansiyel yağ ilavesi kontrol örneğine göre mekanik mukavemetin göstergesi olan KK değerlerinde artışa sebep olmuştur. Nanolif katmanları oluşturan nanoliflerin çaplarındaki artış elde edilen katmanların mekanik mukavemetlerindeki artışa neden olmuş olabilir. Benzer durumun Özcan vd. (2023) tarafından da esansiyel yağ katkılı PLA nanoliflerde yapılan çalışmada da gözlemlendiği bildirilmiştir [50].

Kopma uzaması (KU) ise esansiyel yağ ilavesiyle kontrol grubuna kıyasla önemli artış göstermiş ve esansiyel yağ katkılı tüm nanolifler istatistiksel olarak benzer KU değerleri sergilemiştir. En yüksek KU değerleri (%149,84) %20 esansiyel yağ katkılı nanolif katmanlarda belirlenirken, en düşük KU değerleri ise (%131,01) %25 esansiyel

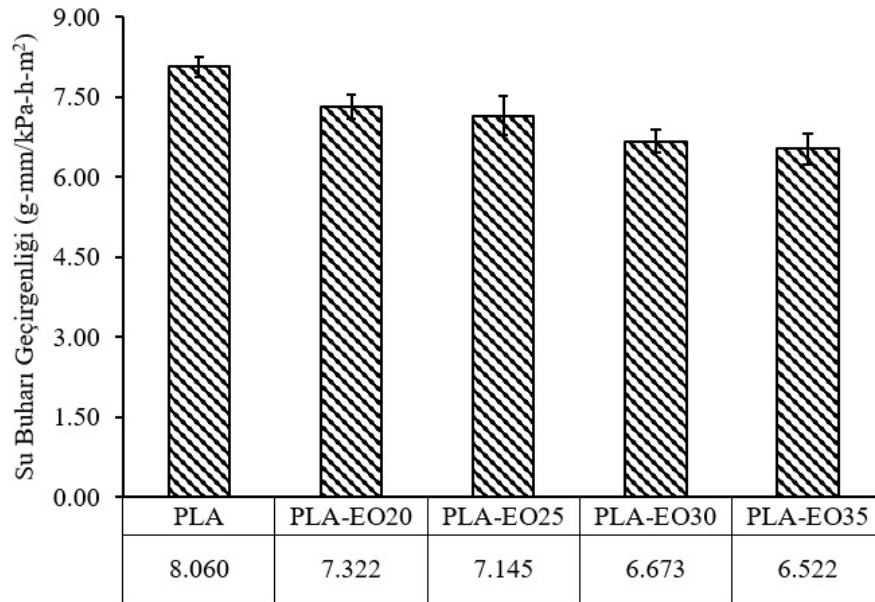
yağ katkılı nanolif katmanlarda gözlenmiştir. Genel olarak düşünüldüğünde esansiyel yağ katkısı nanolif katmanların KU değerlerini arttırmıştır ve bu durum esansiyel yağın plastikleştirici etkisinden kaynaklanmış olabilir. PLA zinciri arasına giren esansiyel yağ molekülleri elde edilen nanolif katmanların daha esnek bir yapı sergilemesine katkı sağlamıştır. Polimer zincirinde meydana gelen açılmalar, katmanların esnekliğine katkı sağlamış ve kontrol grubuna kıyasla önemli bir mekanik özellik kazanılmıştır.

Patlatma kuvveti ambalaj malzemelerinin dikey deformasyona dayanımının bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Patlatma kuvveti (PK) açısından sonuçlar incelendiğinde %30 esansiyel yağ katkılı nanolif katmanlar en yüksek PK değerleri (315,59 g) sergilemiş, bu da materyalin patlamaya karşı dayanıklılığını güçlendirdiğini göstermiştir. Esansiyel yağ ilavesinin %30'dan %35 seviyesine çıkması PK değerlerinin %44.9 azalmasına neden olmuştur. Bu durum KU değerlerinde olduğu gibi esansiyel yağın plastikleştirici etkisinden kaynaklanmış olabilir. Esneklik değeri artan nanolif katmanların mekanik mukavemetlerinde azalmaların tespit edilmesi mümkündür. Bu durum polimer zincirlerinde meydana gelen açılmalardan kaynaklanmaktadır. Patlatma uzaması (PU) değerlerinde ise %20 esansiyel yağ katkılı nanolif en yüksek uzamayı (3,71 mm) sergilemiştir. Öte yandan, %35 esansiyel yağ katkılı nanolif tüm mekanik parametrelerde daha düşük performans göstermiştir. Bir çalışmada, baharat karışımı esansiyel yağlarla fonksiyonelleştirilmiş PLA bazlı nanoliflerin, çözelti üfleme eğirme yöntemi ile üretildiği belirtilmiş ve nanoliflerin kopma kuvveti (KK) değerlerinin 0,31 ile 0,49 MPa arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Uçucu yağ oranı arttıkça KK değerlerinin önemli ölçüde azaldığı, ancak kopma uzaması (KU) değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Bir başka çalışmada ise, elektro-eğirme yöntemi kullanılarak PLA nanolifleri üretilmiş ve elde edilen nanolif katmanlarının KK değerlerinin bu çalışmada elde edilen bulgularla benzer olduğu, PLA konsantrasyonunun artmasıyla mekanik mukavemet ve uzama oranlarının kayda değer şekilde değiştiği bildirilmiştir [52].

Genel olarak, esansiyel yağ katkısının PLA nanoliflerin mekanik dayanıklılığı ve esnekliğini iyileştirdiği, ancak katkı oranının mekanik performansa farklı etkileri olduğu görülmektedir.

4.3 Su Buharı Geçirgenliği

Nanolif katmanların su buharı geçirgenliği üzerine yapılan incelemeler, bu malzemelerin çeşitli uygulamalardaki işlevselliklerini anlamak açısından önemli bilgiler sunmaktadır. Bu çalışmada Şekil 4.2'den anlaşıldığı gibi en yüksek SBG değeri 8,060 g.mm/m².h.kPa ile baharat esansiyel yağı içermeyen PLA nanoliflerde tespit edilmiştir. Nanoliflere eklenen esansiyel yağ konsantrasyonu yükseldikçe istatistiksel olarak su buharı geçirgenlikleri önemli oranda düşmüştür. En düşük SBG değeri 6,522 g.mm/m².h.kPa ile %35 esansiyel yağ ilave edilen nanoliflerde gözlenmiştir. Yağlar hidrofobik karakterde olduğundan ilave edilen malzemenin hidrofobik özelliklerini atırmamaktadırlar.



Şekil 4.2 : Farklı oranlarda esansiyel yağ içeren nanolif katmanların SBG değerleri.

Tez çalışmasında hidrofobik karakterde PLA kullanılmış olup, yine hidrofobik karakterde olan esansiyel yağ katkısı ile nanoliflerin hidrofobik özelliği artmış ve SBG değerleri düşmüştür.

Literatür çalışmaları incelendiğinde, bir çalışmada lignin katkılı selüloz nanoliflerin su buharı geçirgenliğini artırarak bu malzemelerin yapısal değişimlerinin bu etkide rol oynadığı belirtilmiştir [53]. Benzer şekilde, su buharı geçirgenliğinin sitrik asit ile çapraz bağlanmış jelatin/kurkumin bazlı elektrospun nanoliflerde önemli ölçüde yükseldiğini göstermiştir [54]. Polilaktik asit/poliolen glikol bazlı membranlarda su

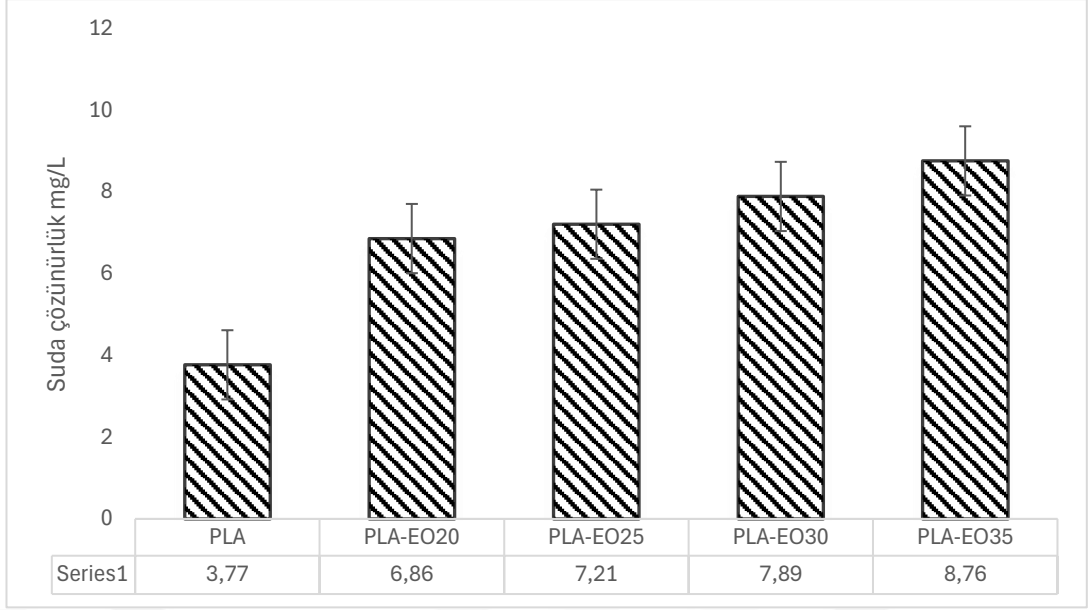
buharı geçirgenliği incelendiğinde, bu malzemelerin yara örtüsü olarak kullanıma uygun olduğu belirtilmiştir [55].

Son yıllarda, su buharı geçirgenliği ve bariyer özelliklerini iyileştirmede elektrospun nanolif mat üstü film katmanlı akıllı gıda ambalaj filmlerinin geliştirildiği ifade edilmiştir [56]. Söz konusu araştırmalar, nanoliflerin su buharı geçirgenliğinin malzeme kompozisyonu ve üretim süreçlerine göre değişkenlik gösterebileceğini ifade etmektedir. Gıda ambalajı için guar gum ve selüloz nanoliflerden oluşan dayanıklı ve esnek film üretilen bir çalışmada nanoliflerin su buharı geçirgenliğinde azalma ($1,76 \times 10^{-10}$ gm/m²·Pa·s) görülmüş ve bu da yağ geçirgenliğine karşı direnci artırmıştır. Kitosan bazlı filmlerde kitin nanoliflerinin fiziksel, kimyasal ve biyolojik performanslarının araştırıldığı bir çalışmada kitin nanoliflerinin eklenmesiyle filmlerin su buharı geçirgenliği azalmıştır [44]. Guar gum ve gum arabic içeren çok işlevli gıda ambalaj malzemeleri ile ilgili bir çalışmada matların su buharı geçirgenliği azalmıştır. Avokado kabuğundan elde edilen çinko katkılı karbon noktaları ile nanolif üretilen bir çalışmada su buharı geçirgenliği azalmıştır ve buna bağlı raf ömrü uzatılmıştır.

Literatürdeki bu çalışmalar, nanoliflerin su buharı geçirgenliğinin çeşitli yöntemler ve malzemeler kullanılarak değiştiğini göstermiştir. Bizim çalışmamızda literatürle uygunluk göstermektedir.

4.4 Suda Çözünürlük

Nanolif katmanların suda çözünürlük analizi, biyolojik olarak bozunabilir materyallerin çevresel sürdürülebilirliği ve biyomedikal uygulamalarda kullanılabilirliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Suda çözünürlük testi, malzemenin suya maruz kaldıktan sonra kütle kaybını ölçerek malzemenin suyla etkileşim derecesini belirlemektedir. PLA gibi biyopolimerler, çevresel koşullara göre farklı çözünürlük özellikleri gösterebilirler. Genel olarak PLA hidrofobik bir yapıya sahip olduğundan dolayı, saf PLA nanolifleri düşük suda çözünürlük göstermektedir. Ancak nanolife ilave edilen esansiyel yağlar, çözünürlük üzerinde farklı etkiler yaratabilir. Özellikle katkı maddeleri ve nanolif yapısındaki değişiklikler, çözünürlük performansını doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmaya göre esansiyel yağ konsantrasyonlarının nanoliflerin suda çözünürlüğünü yükselttiği Şekil 4.3'de görülmektedir.



Şekil 4.3 : Esansiyel yağ konsantrasyonunun nanolif katmanların suda çözünürlüğüne etkisi.

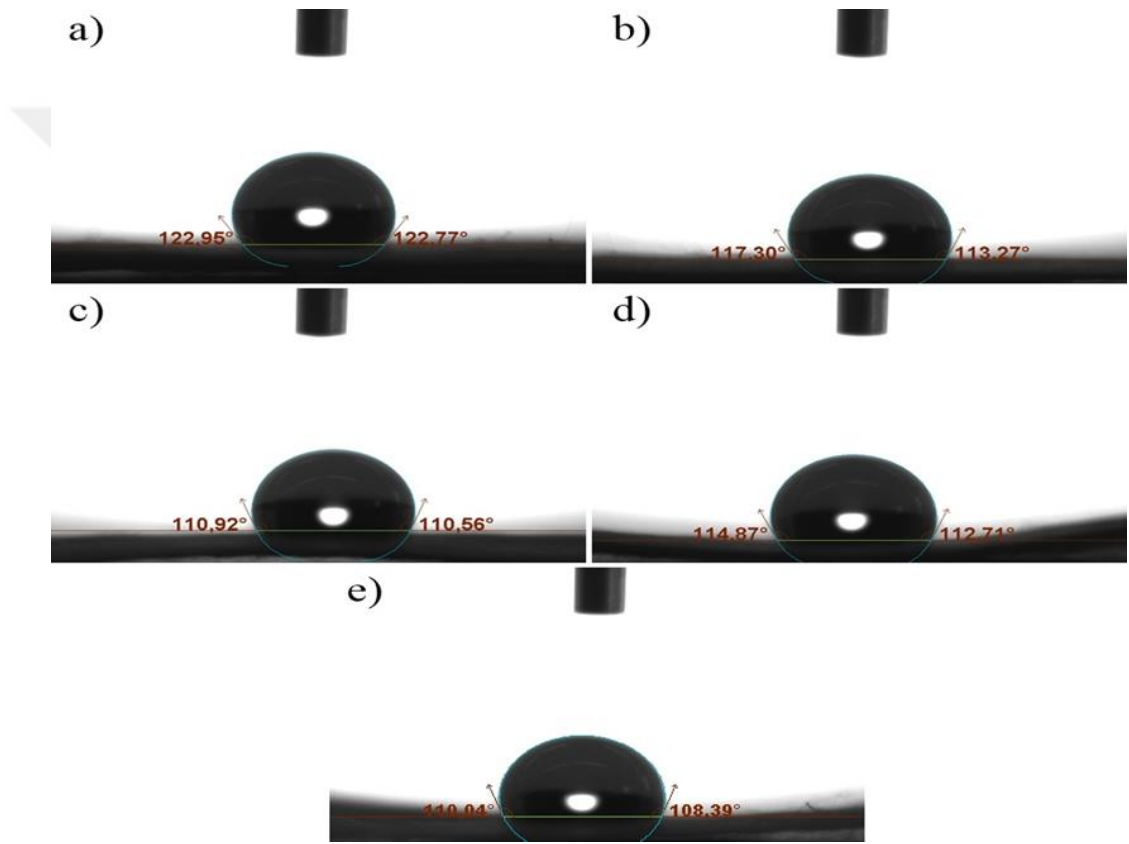
Şekil 4.3’de görüldüğü gibi, en düşük suda çözünürlük değeri PLA nanolif katman örneğinde görülmüştür. Esansiyel yağ ilavesi nanolif katmanın suda çözünürlüğünü yükseltmiş ancak değişen konsantrasyonların çözünürlüğe belirgin etkisi gözlenmemiştir. Çalışmamız ile benzer şekilde, %20 ve %30 oranında esansiyel yağ içeren PLA nanoliflerin, katkı maddesi içermeyen PLA nanoliflere göre daha yüksek çözünürlük sergilediği bildirilmiştir [57]. Suda çözünürlüğün, sıcaklık ve pH gibi faktörlerden etkilendiği ve çözünme hızının nanoliflerin kristal yapısına bağlı olduğu bilinmektedir [58]. Nanoliflerin ambalaj malzemesi olarak kullanımında suda çözünürlük değerinin düşük olması önem arz etmektedir.

Ayrıca yapılan araştırmalar, suyla etkileşimde olan nanoliflerin çözünürlük davranışlarını optimize ederek kullanım ömrünü ve biyobozunabilirliğini iyileştirmek temel amaçlar arasındadır.

4.5 Temas Açısı

Temas açısı analizi, bir yüzeyin hidrofilik veya hidrofobik özelliklerini belirlemede kullanılan temel bir tekniktir. Bir sıvı damlasının katı bir yüzeyle oluşturduğu temas açısı, yüzey gerilimi ve malzemenin yüzey enerjisi hakkında bilgi vermektedir. Genellikle 90°’nin üzerindeki temas açıları yüzeyin hidrofobik olduğunu, 90°’nin altındaki temas açıları ise yüzeyin hidrofilik olduğunu göstermektedir. Daha yüksek

temas açısı, suyun yüzey üzerinde küre formunda kalmasına, daha düşük temas açısı ise yüzeyde yayılmasına neden olmaktadır. Sıvı damlasının yüzeyde nasıl davrandığı, sıvının yüzey gerilimi ile katı yüzeyin yüzey enerjisine bağlıdır. Daha yüksek temas açısı, yüzeyin düşük yüzey enerjisine sahip olduğunu ve sıvı damlasının yüzeye daha az etkileşimde bulunduğunu göstermektedir. Hidrofobik yüzeyler su damlasını küresel forma yaklaştırır ve suyu iterken, hidrofilik yüzeyler su damlasının yayılmasına izin vermektedir. Malzemelere yapılan esansiyel yağ gibi çeşitli katkıları yüzey özelliklerini değiştirmektedir [59]. Şekil 4.4’de esansiyel yağ ilavesi yapılan nanoliflerin temas açısı görselleri verilmiştir.



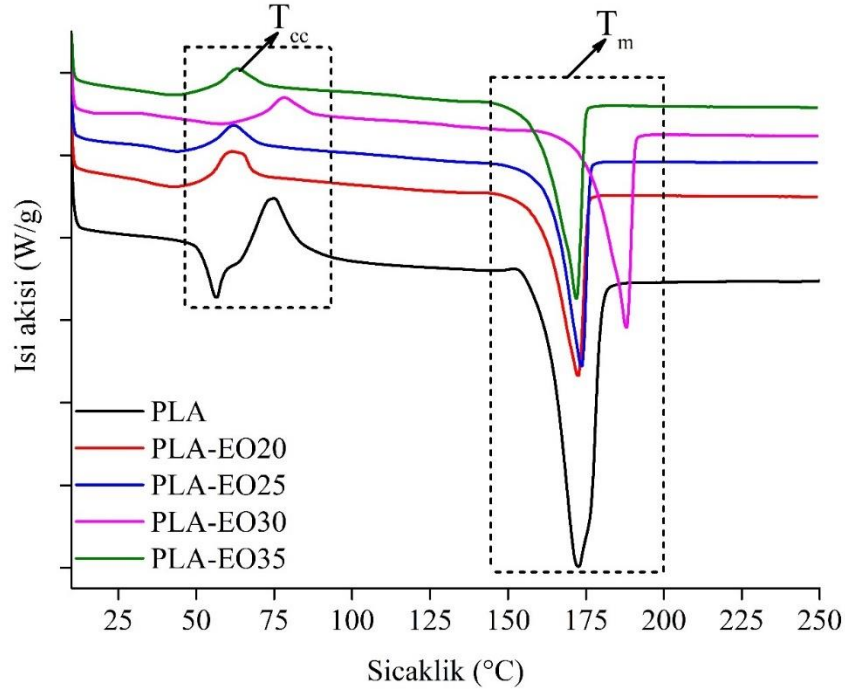
Şekil 4.4 : Temas açısı görüntüleri. (Şekildeki görüntüler a): PLA, b): PLA-EO20 c): PLAEO25, d): PLA-EO30, e): PLA-EO35 konsantasyonlarına aittir).

Bu çalışmada, PLA nanoliflerin yüzey özellikleri, temas açısı analizi kullanılarak araştırılmıştır. PLA nanolifin temas açısı yaklaşık 120° iken, esansiyel yağ ile zenginleştirilen PLA nanoliflerin temas açıları yaklaşık 110° olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, esansiyel yağ ilavesinin nanolifin katmanların yüzey hidrofobikliğini olumsuz etkilemediğini göstermiştir. Elde edilen nanolif katmanların 90° ’den daha büyük bir temas açısına sahip olduğu için yüksek hidrofobisite sergilediği tespit edilmiştir. Her ne kadar esansiyel yağ ilavesi temas açısı değerlerinde kısmi bir

azalmaya sebep olsa da, nanolif katmanların hidrofobik yapısı önemli derecede etkilenmemiştir. Bu sonuçlar elde edilen nanolif katmanların su içeriği yüksek gıda ürünlerinin ambalajlanmasında kullanılabileceğini göstermektedir. Sienkiewicz vd. (2017), farklı oranlarda timol ve karvakrol içeren PLA nanoliflerin yüzey özelliklerini incelediğinde, esansiyel yağların PLA nanoliflerin yüzey pürüzlülüğünü artırarak temas açısını önemli ölçüde yükselttiğini göstermiştir. Esansiyel yağ içermeyen PLA nanoliflerin temas açısı yaklaşık 100° olarak bulunurken, esansiyel yağ eklendiğinde bu açı 120° 'ye kadar çıkmıştır. Bu artış, esansiyel yağın hidrofobik özelliklerinden kaynaklanmıştır. Zhou vd. (2019) çalışmalarında; PLA nanoliflerin içerisine çay ağacı yağı eklemiş ve hem temas açısı hem de yağın kontrollü salınım özelliklerini incelemiştir. Çay ağacı yağı eklenmiş PLA nanoliflerin temas açısının yaklaşık 115° olduğu, böylece bu değerlerin nanoliflerin yüzeyinin daha hidrofobik hale geldiğini bildirmişlerdir [60].

4.6 DSC ile termal özelliklerin belirlenmesi

Nanolif katmanlarının termal özelliklerini belirlenmesi için kullanılan teknik diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)'dir. DSC, nanoliflerin camsı geçiş sıcaklığı, erime sıcaklığı, kristalizasyon sıcaklığı ve entalpisi gibi termal davranışlarını ölçer ve bu özelliklerin nanoliflerin yapısal, kimyasal ve performans özellikleri üzerindeki etkilerini anlamaya yardımcı olur. Esansiyel yağ katkılı nanolif katmanlara ait DSC grafiği Şekil 4.5'te verilmiştir. PLA nanoliflerin kristalleşme sıcaklıklarının 75°C olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.5 : DSC grafiği.

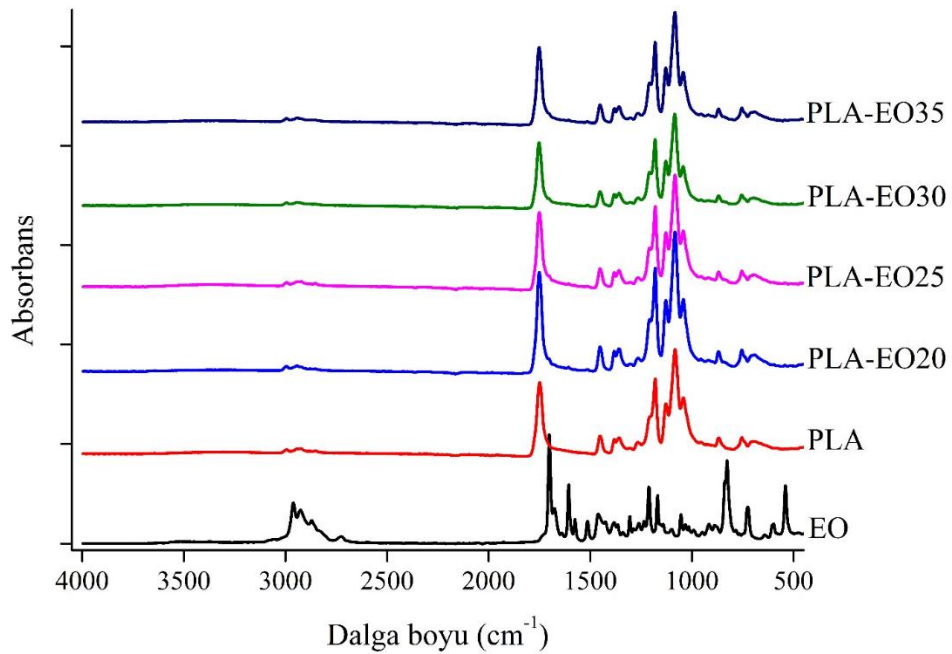
Şekil 4.5’de görüldüğü gibi, saf PLA içeren nanolif en belirgin kristalleşme pikine sahiptir. Esansiyel yağ konsantrasyonu arttıkça kristalleşme pikinin yüksekliği azalmış ve kristal miktarında azalma tespit edilmiştir. Bu, esansiyel yağın nanolif katmanın kristalleşme miktarını düşürdüğünü göstermektedir. Erime sıcaklığı için (T_m) 150-175 °C aralığında bakıldığında saf PLA en düşük erime sıcaklığına sahip olarak gözlemlenmiştir. Esansiyel yağ konsantrasyonu arttıkça erime sıcaklığında bir artış gözlemlenmiş, ancak önemli bir değişim olmadığı tespit edilmiştir. Esansiyel yağın artan konsantrasyonu, PLA’nın kristalleşme davranışını belirgin şekilde etkilemiş, kristalleşmeyi baskılamış ve T_{cc} ’de kısmi bir azalmaya neden olmuştur.

Esansiyel yağların ilave edildiği ve çözelti üfleme yöntemi ile üretilen PLA esaslı nanoliflerin incelendiği bir çalışmada, baharat karışımı uçucu yağ konsantrasyonu arttıkça PLA nanoliflerin camsı geçiş sıcaklıklarının azaldığı, kristalleşme piklerinin kaybolduğu ve erime sıcaklıklarının düştüğü ifade edilmiştir [60]. Başka bir çalışmada kristal yapıdaki bakteriyel selüloz ile zenginleştirilen PLA nanoliflerin yapısına karvakrol ilave edilmiş ve PLA yapısının plastisitesinin azaldığı ve camsı geçiş sıcaklıklarının azaldığı tespit edilmiştir. Bizim çalışmamızda da literatüre benzerlik göstererek erime sıcaklığında çok büyük bir değişiklik olmamasına rağmen, entalpi değerleri esansiyel yağın konsantrasyonunun artmasıyla değişkenlik

göstermiştir. Bu sonuçlar, esansiyel yağın polimer zincirlerinin hareketliliğini artırarak cam geçiş sıcaklığını (T_g) düşürdüğünü ve kristallenmeyi engellediğini göstermektedir. Bu sonuçlar nanoliflerin ambalaj malzemesi olarak kullanılmasında kolay işlenebilecek bir malzeme olduğunu göstermektedir.

4.7 Yapı Tayini

Nanolif katmanların kimyasal bileşimini belirlemek amacıyla yapı tayini analizi (FTIR) gerçekleştirilmiştir. Farklı konsantrasyonlarda esansiyel yağ ilavesi yapılan nanolif katmanların yapı tayini analiz sonuçları Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6 : Esansiyel yağ katkıli nanoliflere ait FTIR grafiği.

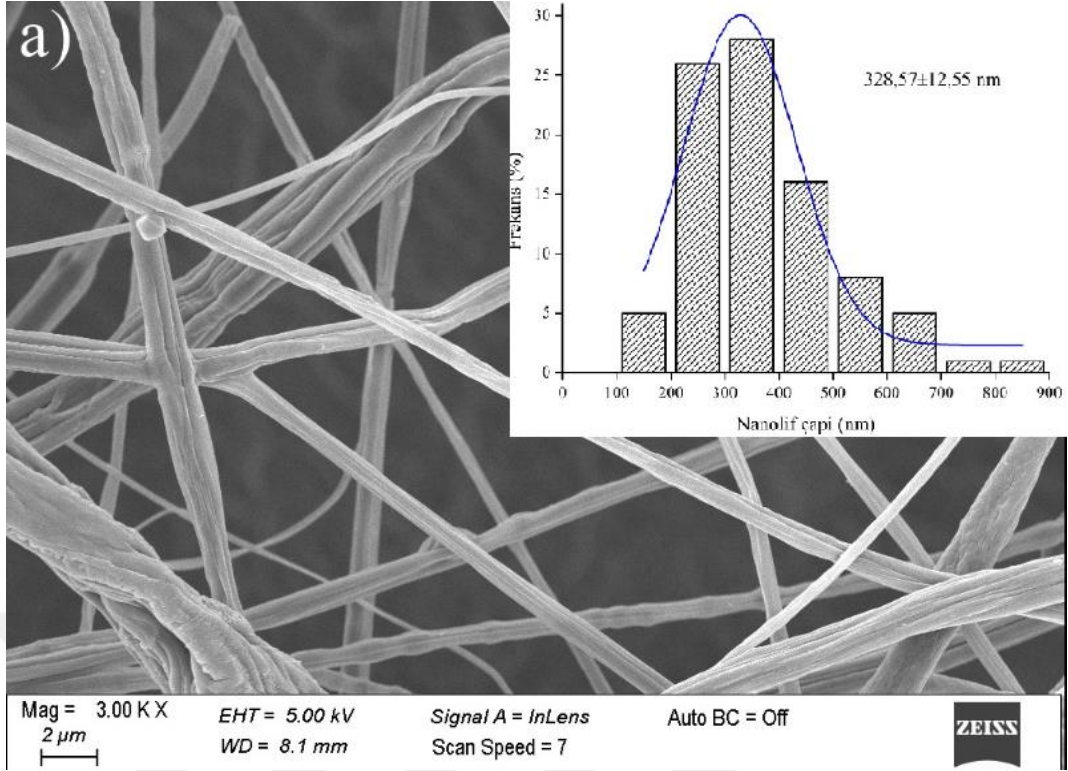
Saf PLA için karakteristik pikler 1750 cm^{-1} civarında karbonil grubu (C=O) gerilmesi, 1180 cm^{-1} ve 1080 cm^{-1} civarında C-O gerilme titreşimleri, 2995 cm^{-1} civarında C-H gerilme titreşimleri görülmektedir. Bu bölgeler PLA'nın kimyasal yapısını doğrulamaktadır. %20 esansiyel yağ katkıli nanolifte 1750 cm^{-1} 'de karbonil piki korunmuş, ancak bazı yeni pikler ortaya çıkmış ve bu, esansiyel yağın eklenmesiyle meydana gelen kimyasal değişiklikleri işaret etmektedir. %25 esansiyel yağ katkısında %20 katkı oranına kıyasla, piklerin yoğunluğunda ve genişliğinde belirgin bir fark gözlemlenmemiştir, ancak 1750 cm^{-1} 'deki karbonil bandında hafif bir değişiklik

olabilir. Bu, esansiyel yağın polimer matrisiyle etkileşimini gösterebilir. %30 esansiyel yağ katkılı nanolifte esansiyel yağın varlığıyla bazı piklerde yoğunlaşma ve kayma gözlenmiştir. Ayrıca, 1100-1300 cm^{-1} bölgesinde C-O-C ve C-O gruplarının yoğunlaşması olabilir. Esansiyel yağın %35 oranında katkı sağlandığı numunede, diğerlerine göre piklerin yoğunluğu biraz daha yüksek görünmektedir. Bu da esansiyel yağın daha fazla oranda polimer yapısıyla etkileşime geçtiğini gösterebilir. 1700-1750 cm^{-1} bölgesinde karbonil piklerinde bir miktar genişleme ve kayma olduğu gözlenmektedir.

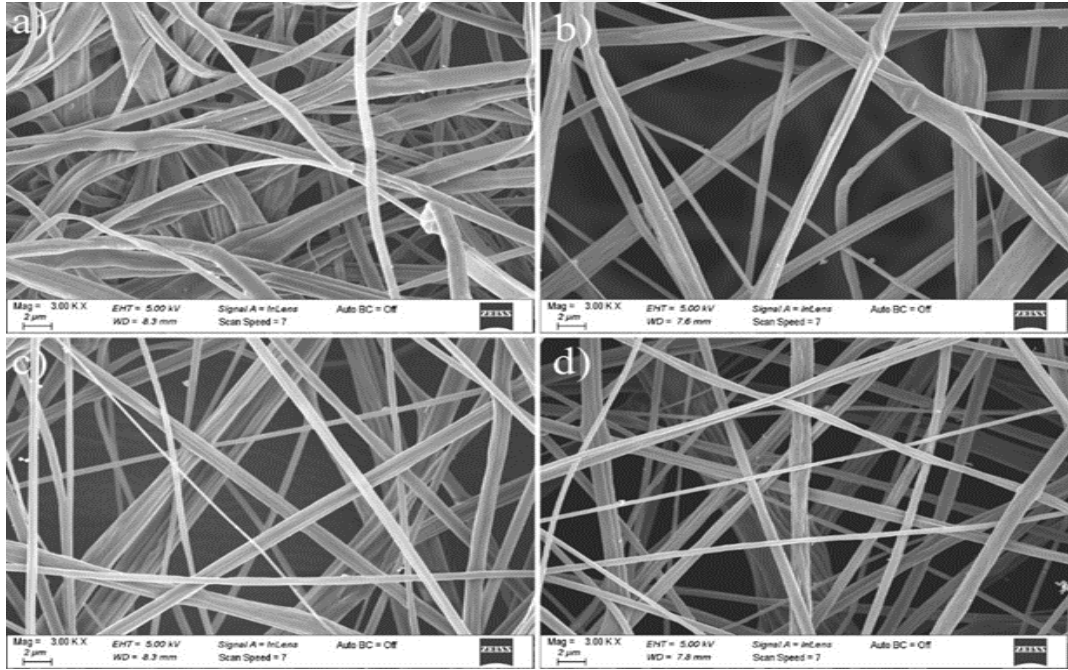
Esansiyel yağ katkısının artışıyla birlikte, FTIR spektrumunda C-H, C-O ve karbonil grupları gibi belirgin fonksiyonel grupların şiddetinde ve konumlarında değişiklikler gözlenmiştir. Özellikle C-H gerilme bölgelerindeki pikler, esansiyel yağın eklenmesiyle güçlenmiştir, bu da polimer matrisinin esansiyel yağın kimyasal yapısı ile etkileşime girdiğini göstermektedir. Her bir katkı oranı, farklı düzeyde kimyasal etkileşimlere ve değişimlere neden olmuştur. Polikaprolakton (PCL) nanolif yüzeylerinin çeşitli kimyasal ajanlarla modifiye edildiği bir araştırmada, modifikasyon sonrasında, FTIR spektrumu C-H gerilme (2850-2950 cm^{-1}) ve ester gruplarının (1730 cm^{-1}) absorpsiyon bantlarını göstermiştir. Bu bantlar, modifikasyonun başarılı olduğunu ve yüzey fonksiyonel gruplarının değiştirildiğini doğrulamıştır [61].

4.8 SEM İle Morfolojik Özellikler

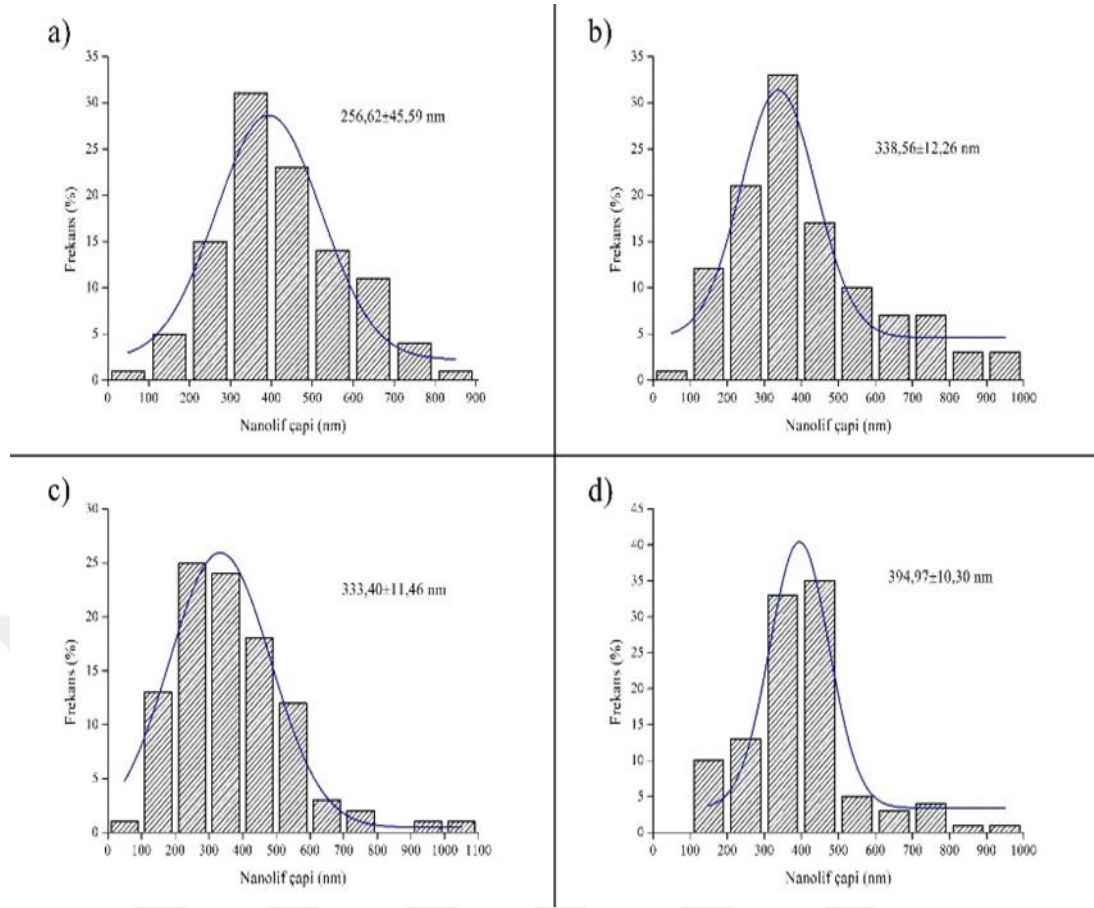
Nanoliflerin çap dağılımlarının belirlenmesi, bu malzemelerin çeşitli kullanımlarını anlamak için kritik bilgiler sunmaktadır. Şekil 4.6'da a, b, c, ve d sırayla %20, %25, %30 ve %35 esansiyel yağ eklenen nanoliflerin x3000 yakınlaştırma ile SEM görsellerini bulunmakta ve nanolif çapları 256 nm ile 394 nm arasında değişmektedir. Tüm nanolif görselleri için damlacıksız, homojen bir yapı gözlenmektedir. Esansiyel yağ içeriği nanolif yüzeyinde bir pürüzlülük oluşturmamış ve konsantrasyon artışı ile de lif yapısında bozulma tespit edilmemiştir. Salau vd. (2024) çalışmasında, gümüş-demir nanoparçacıkları ile oluşturulan nanoliflerin *Celocia argentea* fideleri üzerindeki etkilerini araştırmış ve bu nanoliflerin çaplarının 1,52 – 35,88 nm arasında değiştiğini bildirmiştir [62]. Codau ve Codau'nun (2024), elektrospun poliüretan kompozitlerinden elde edilen ultra-esnek termoelektrik nanolifli membranların çapının, bu malzemelerin morfolojisi ve yüzey özellikleri üzerinde önemli bir etkisi olduğunu belirtmiştir [63]. SEM görüntüleri Şekil 4.7, 4.8 ve 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.7 : PLA nanolife ait SEM görüntüleri



Şekil 4.8 : %20 oranında esansiyel yağ içeren nanolif (a), %25 oranında esansiyel yağ içeren nanolif (b), %30 oranında esansiyel yağ içeren nanolif (c), %35 oranında esansiyel yağ içeren nanolif (d).



Şekil 4.9 : Lif çapı değişim grafikleri (%20 oranında esansiyel yağ içeren nanolif (a), %25 oranında esansiyel yağ içeren nanolif (b), %30 oranında esansiyel yağ içeren nanolif (c), %35 oranında esansiyel yağ içeren nanolif (d)).

Ayrıca, Thite vd. (2021) selüloz asetat/gum rosin kompozit nanolifler üzerine yaptığı araştırmada, bu nanoliflerin yüz maskesi uygulamalarında bakteri filtrasyon verimliliği ve antibakteriyel özellikler üzerinde çaplarının belirgin bir etkisi olduğu ortaya konmuştur [64]. Guliyev vd. (2024), elektrospinning yöntemiyle elde edilen nanoliflerin çaplarının yüzey pürüzlülüğü ve mekanik özelliklere doğrudan etkili olduğunu gösterirken, bu lif çapının biyomedikal uygulamalarda ideal özelliklere sahip nanolifler elde edilmesi açısından önemli olduğunu belirtmiştir [65]. Benzer şekilde, Szparaga vd. (2024), hyaluronik asit bazlı nanoliflerin çapının hücre yapışma ve proliferasyonunu etkilediğini, daha ince liflerin daha yüksek hücre yapışma oranlarına sahip olduğunu göstermiştir [66]. Yalcinkaya ve Buzgo (2024), poliamidimid nanoliflerin çapının azaltılmasıyla endüstriyel ölçekli üretim için daha uygun ve tutarlı lifler elde edilebileceğini göstermiştir [67]. Bu bulgular, nanolif çapının malzeme bilimde ve çeşitli teknolojik uygulamalarda belirleyici bir parametre olduğunu vurgulamaktadır.

4.9 Antioksidan Kapasite

Nanoliflerin antioksidan kapasitesini artırmaya yönelik çalışmalar, özellikle biyopolimer matrislerine doğal antioksidan bileşiklerin entegre edilmesi yoluyla önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Bu tür nanoliflerin, gıda paketlenme, biyomedikal uygulamalar ve koruyucu kaplamalar gibi farklı alanlarda oksidatif strese karşı koruma sağlaması hedeflenmektedir. Bu çalışmada kullanılan baharat karışımı kırmızıbiber, karabiber ve kimyon içermektedir. Belirtilen baharatların yüksek antioksidan kapasiteye sahip olduğu bilimsel çalışmalarla doğrulanmıştır. Kırmızı biber, fenolik bileşikler ve karotenoidler açısından zengin olduğu, Trolox Eşdeğer Antioksidan Kapasitesi (TEAC) değerinin yaklaşık 1.40–1.60 mmol Trolox/100g kuru ağırlık olarak bulunduğu bildirilmiştir. Bu değer kırmızı biberin serbest radikalleri temizlemede etkili bir antioksidan kapasiteye sahip olduğunu göstermektedir. Karabiberin temel biyoaktif bileşiği olan piperin, lipid peroksidasyonunu inhibe eden güçlü bir antioksidandır ve TEAC değerleri yaklaşık 4-7 mmol Trolox/100g kuru ağırlık arasında değişmektedir. Kimyon ise özellikle metanolik ekstraktlarında yüksek antioksidan kapasite sergiler, ve TEAC değeri 6.61 mmol Trolox/100g kuru ağırlık olarak rapor edilmiştir [68]. Farklı konsantrasyonlarda esansiyel yağ ilave edilen PLA nanolifler için arttığı tespit edilen antioksidan kapasite sonuçları Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3 : Farklı konsantrasyonlarda esansiyel yağ içeren PLA esaslı nanoliflerin antioksidan kapasiteleri.

Örnek	Mikromol Trolox/ g örnek	% İnhibisyon
PLA nanolif	7,12±0,46 ^e	11,84±0,60 ^e
PLA-EO20	149,34±4,31 ^d	30,26±0,56 ^d
PLA-EO25	170,07±2,08 ^c	32,94±0,27 ^c
PLA-EO30	224,98±2,31 ^b	40,05±0,89 ^b
PLA-EO35	280,36±3,52 ^a	47,23±0,07 ^a

Değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Aynı sütunda bulunan farklı üst simge harfler depolama sürelerinin ortalamaları arasındaki önemli farklılığı göstermektedir. Aynı satırda yer alan farklı üst simge büyük harfler örnek grupları arasındaki önemli farklılığı göstermektedir.

Çizelge 4.3 incelendiğinde, PLA içerikli nanolifin düşük miktarda antioksidan kapasite içerdiği görülmüştür. Nanoliflerde PLA içerisinde bulunan baharat esansiyel yağ oranı arttıkça antioksidan kapasitenin yükseldiği tespit edilmiştir. Sonuçlarımız literatürle uyumlu olup, esansiyel yağ ilaveli polilaktik asit nanoliflerinde DPPH radikal temizleme testi sonucunda serbest radikal temizleme kapasitesini önemli ölçüde artırdığı ifade edilmiştir [69]. Bu sonuç, özellikle esansiyel yağlarla zenginleştirilmiş PLA nanoliflerin gıda paketlenme alanında potansiyel bir uygulama sunabileceğini göstermiştir. Benzer şekilde yapılan bri çalışmada, melatonin gibi güçlü antioksidan bileşiklerle yüklü PLA nanoliflerinin oksidatif stresin neden olduğu hasarı azaltmada etkili olduğu kanıtlanmıştır [70]. Bunu destekleyen bir diğer çalışmada, polikaprolakton nanoliflerine esansiyel yağlar ve bitkisel ekstraktlar eklenerek nanoliflerin serbest radikallere karşı direnç kazandığı bildirilmiştir [71]. Bu sonuçlar, esansiyel yağlarla zenginleştirilmiş nanoliflerin biyomedikal cihazlar, yara örtüleri ve gıda ambalajları gibi çeşitli uygulamalarda kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Bu çalışmalar genel olarak, nanoliflerin antioksidan aktivitesini artırarak, biyomedikal, gıda güvenliği ve kozmetik gibi birçok farklı endüstride kullanım potansiyelini artırmada yol gösterici olacağı düşünülmektedir. Bu tür araştırmalar, hem çevresel sürdürülebilirliği destekleyen biyobozunur malzemelerin geliştirilmesine hem de sağlık alanında oksidatif hasarı önlemeye yönelik yenilikçi çözümler sunmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gıda muhafazasında raf ömrünün uzatılması için nanoteknolojik yeniliklerin uygulanması büyük umut vaat etmektedir. Son yıllarda, nanoteknoloji gıda ambalajlarındaki kullanımları ve bu ambalajlar için doğal aktif bileşenlerle fonksiyonel özelliklerinin artırılması üzerine çok sayıda araştırma yapılmıştır. Nanoliflerin üretiminde yaygın olarak kullanılan elektro eğirme yöntemine alternatif olarak, elektro üfleme yöntemi daha basit ve uygun bir üretim tekniği olarak öne çıkmaktadır. Çözelti üfleme yöntemiyle PLA'dan elde edilen nanoliflere çeşitli biyoaktif bileşenler eklenerek, bu nanoliflerin fonksiyonel özellikler kazanarak gıda muhafazasında alternatif bir çözüm sunması hedeflenmiştir.

Bu çalışma içerisinde baharat karışımından elde edilen esansiyel yağ katkılı nanolifler elektro üfleme yöntemiyle üretilmiş ve aşağıdaki bulgular elde edilmiştir:

Esansiyel yağ konsantrasyonu arttıkça nanolif kalınlığında azalmalar tespit edilmiştir. Kontrol grubu olarak seçilen esansiyel yağ içermeyen nanolif örneğinde maksimumda olan kalınlık, esansiyel yağ ilavesiyle azalmıştır.

Mekanik mukavemet testlerinde ölçülen patlatma kuvveti ambalaj malzemelerinin dikey deformasyona dayanımının bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Patlatma kuvveti (PK) açısından sonuçlar incelendiğinde %30 esansiyel yağ katkılı nanolif katmanlar en yüksek PK değerleri (315,59 g) sergilemiş, bu da esansiyel yağın, nanolif tabaka için patlamaya karşı dayanıklılığını güçlendirdiğini göstermiştir. Esansiyel yağ ilavesinin %30'dan %35 seviyesine çıkması PK değerlerinin %44.9 azalmasına neden olmuştur. Tüm sonuçlara bakıldığında en uygun konsantrasyon %30 olarak görülmektedir. Genel olarak, esansiyel yağ katkısının PLA nanoliflerin mekanik dayanıklılığı ve esnekliğini iyileştirdiği, ancak katkı oranının mekanik performansa farklı etkileri olduğu görülmektedir.

Nanoliflere eklenen esansiyel yağ konsantrasyonu yükseldikçe istatistiksel olarak su buharı geçirgenlikleri önemli oranda düşmüştür. En düşük SBG değeri 6,522 g.mm/m².h.kPa ile %35 esansiyel yağ ilave edilen nanoliflerde gözlenmiştir. Yağlar

hidrofobik karakterde olduğundan ilave edilen malzemenin hidrofobik özelliklerini atırmaktadır. Bu çalışmada hidrofobik karakterde PLA kullanılmıştır ve ilave olarak yine hidrofobik olan esansiyel yağ eklendiğinden nanoliflerin hidrofobikliği yükselmiş ve SBG değerleri düşmüştür.

PLA hidrofobik bir yapıya sahip olduğundan dolayı, saf PLA nanolifleri düşük suda çözünürlük gösterir. Ancak nanolif ilave edilen esansiyel yağlar, çözünürlük üzerinde farklı etkiler yaratabilir. Çalışmamızda esansiyel yağ ilavesinin nanolif katmanının suda çözünürlüğünü düşük miktarlarda artırdığı ancak istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, PLA nanolifin temas açısı 120° civarındayken, esansiyel yağ ile zenginleştirilen PLA nanoliflerin temas açıları 110° civarında bulundu. Bu sonuçlar, esansiyel yağ ilavesinin nanolifin hidrofilik özelliğini artırdığını ancak hidrofobikliği olumsuz etkilemediğini göstermektedir.

PLA içeren ve esansiyel yağ katkılı nanoliflerin endotermik karakter gösterdiği tespit edilmiştir. PLA içeren nanoliflerin camsı geçiş sıcaklığının esansiyel yağ katkılı nanoliflere göre daha yüksek olduğu, kristalizasyon özelliklerinde ise belirgin bir fark bulunmadığı, esansiyel yağın PLA içeren nanoliflerle amorf bir yapı oluşturduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar nanoliflerin ambalaj malzemesi olarak kullanılmasında kolay işlenebilecek bir malzeme olduğunu göstermektedir.

Üretilen nanoliflerin morfolojik özellikleri SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ile incelenmiş, esansiyel yağ içeren ve içermeyen örneklerin homojen dağılım gösterdiği, yüzeylerinde topaklanma bulunmadığı ve pürüzsüz bir yüzeye sahip oldukları belirlenmiştir. Esansiyel yağın PLA içeren nanolifler içinde homojen bir şekilde dağıldığı gözlenmiştir.

Bu tez çalışması, PLA bazlı nanoliflerin baharat esansiyel yağı ilavesiyle yapısal olarak uyum gösterdiğini ortaya koymuştur. Biyoaktif bileşen içeren nanoliflerin üretimi için baharat yağlarının antioksidan özelliklerinin de uygun olduğu ve PLA içerisindeki baharat esansiyel yağ oranı arttıkça antioksidan aktivitenin yükseldiği tespit edilmiştir. Elde edilen veriler, esansiyel yağlarla zenginleştirilmiş PLA nanoliflerin gıda paketlenme alanında potansiyel bir uygulama sunabileceğini göstermiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Neethirajan, S. ve Jayas, D. S. (2010). Nanotechnology for the food and bioprocessing industries. *Food and Bioprocess Technology*, 4 (1), 39-47.
- [2] Tian, F., Decker, E. A., ve Xiao, H. (2013). Enhancing oil-in-water emulsion properties using hydrophobically modified starch-based delivery systems for improved oxidative stability. *Food Research International*, 54 (1), 724-732.
- [3] Çalhoğlu C., F., Geysöğlü, M., ve Akın, M. (2019). Kekik yağı (TEO) kullanılarak emülsiyon elektro lif çekim yöntemi ile elde edilen nanolifli yüzeylerin karakterizasyonu. *Journal of Applied Polymer Science*, 136 (44), 48153.
- [4] Zhou, L., Li, B., ve Liu, L. (2020). Development of electrospun gelatin nanofibers with encapsulated angelica essential oil for potential food packaging applications. *Food Hydrocolloids*, 108, 105964.
- [5] Tarhan, Ö., Gökmen, V., ve Harsa, Ş. (2009). Nanoteknolojinin gıda bilim ve teknolojisi alanındaki uygulamaları. *Gıda*, 35 (3), 219-225.
- [6] Yada, R. (2009). Nanotechnology: A new frontier in foods, food packaging, and nutrient delivery. In *Nanotechnology in food products* (pp. 1-20). National Academies Press.
- [7] Tarhan, Ö., Gökmen, V., ve Harsa, Ş. (2010). Nanoteknolojinin gıda bilim ve teknolojisi alanındaki uygulamaları. *Gıda*, 35 (3), 219-225.
- [8] Neethirajan, S. ve Jayas, D. S. (2011). Nanotechnology for the food and bioprocessing industries. *Food and Bioprocess Technology*, 4, 39-47.
- [9] Robinson, D. K. R. ve Morrison, M. J. (2009). Nanotechnology developments for the agrifood sector - report of the observatory NANO. Retrieved from http://nanopinion.eu/sites/default/files/full_report_nanotechnology_in_agrifood_may_2009.pdf
- [10] Sürengil, G. ve Kılınç, B. (2011). Gıda - ambalaj sektöründe nanoteknolojik uygulamalar ve su ürünleri açısından önemi. *FisheriesSciences.com*, 5 (4), 317-325.
- [11] Leja, K. ve Lewandowicz, G. (2010). Polymer biodegradation and biodegradable polymers: A review. *Polish Journal of Environmental Studies*, 19, 255-266.
- [12] Kakroodi, A. R., Kazemi, Y., Nofar, M., ve Park, C. B. (2017). Tailoring polylactic acid for packaging application via the production of fully bio-based in-situ microfibrillar composite films. *Chemical Engineering Journal*, 308, 772-782.

- [13] **Lim, L.-T., Auras, R., ve Rubino, M.** (2008). Processing technologies for poly(lactic acid). *Progress in Polymer Science*, 33 (8), 820-852.
- [14] **Nofar, M. ve Park, C. B.** (2014). Poly (lactic acid) foaming. *Progress in Polymer Science*, 39, 1721-1741.
- [15] **Li, D. ve Xia, Y.** (2004). Electrospinning of nanofibers: Reinventing the wheel? *Advanced Materials*, 16 (14), 1151-1170.
- [16] **Mikulášek, P. ve Cuhorka, J.** (2017). Application of nanofibrous membranes and their suitability for membrane bioreactor processes in wastewater treatment. In *Fibrous filter media* (pp. 275–290). Elsevier.
- [17] **Huang, Z. M., Zhang, Y. Z., Ramakrishna, S., ve Lim, C. T.** (2004). Electrospinning and mechanical characterization of gelatin nanofibers. *Polymer*, 45, 5361-5368.
- [18] **Kozanoğlu, S.** (2006). *Elektrospinning yöntemiyle nanolif üretim teknolojisi.* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- [19] **Bai, Y., Wang, D., Zhang, Z., Pan, J., Cui, Z., Yu, D. G., ve Bligh, S. W. A.** (2021). Testing of fast dissolution of ibuprofen from its electrospun hydrophilic polymer nanocomposites. *Polymer Testing*, 93, 106872.
- [20] **Liu, F., Türker Saricaoglu, F., Avena-Bustillos, R. J., Bridges, D. F., Takeoka, G. R., Wu, V. C., Chiou, B. S., Wood, D., McHugh, T., ve Zhong, F.** (2018). Preparation of fish skin gelatin-based nanofibers incorporating cinnamaldehyde by solution blow spinning. *International Journal of Molecular Sciences*, 19 (2), 618.
- [21] **Lu, Y., Li, Y., ve Zhang, S.** (2013). Parameter study and characterization for polyacrylonitrile nanofibers fabricated via centrifugal spinning process. *European Polymer Journal*, 49 (12), 3834-3845.
- [22] **Li, D. ve Xia, Y.** (2004). Electrospinning of nanofibers: Reinventing the wheel? *Advanced Materials*, 16 (14), 1151-1170.
- [23] **Daristotle, J. L., Behrens, A. M., Sandler, A. D., ve Kofinas, P. A.** (2016). Review of the fundamental principles and applications of solution blow spinning. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 8, 34951–34963.
- [24] **Lozano, K. ve Sarkar, K.** (2009). Superfine fiber creating spinneret and uses thereof. *US Patent No: 009/0232920 A1*.
- [25] **Deitzel, J. M., Kleinmeyer, J., Harris, D., ve Beck Tan, N. C.** (2001). The effect of processing variables on the morphology of electrospun nanofibers and textiles. *Polymer*, 42 (1), 261-272.
- [26] **Evcin, A.** (2017). Nanolif üretim teknikleri. <https://tr.scribd.com/document/405834460/2-Nanolif-Uretim-Teknikleri>. Erişim Tarihi: 11.05.2019
- [27] **Tiyek, R., Gür, A., ve Özer, A.** (2014). Eriyik püskürtme tekniği ile nanolif üretimi ve uygulama alanları. *Tekstil ve Mühendis*, 21 (95), 1-12.
- [28] **Li, D. ve Xia, Y.** (2004). Electrospinning of nanofibers: Reinventing the wheel? *Advanced Materials*, 16 (14), 1151-1170.

- [29] **Hagewood, J. C.** (2004). Nonwoven fabric production using meltblown technology. In K. Russell (Ed.), *Advances in nonwoven fabric technology* (pp. 89-102). Woodhead Publishing.
- [30] **Xue, J., Wu, T., Dai, Y., ve Xia, Y.** (2019). Electroblowing: A novel technology for producing ultrafine fibers. *Advanced Materials*, 31 (9), 1806678.
- [31] **Varesano, A. ve Tonin, C.** (2009). Polymer nanofibers produced by solution blowing and electroblowing. *Journal of Applied Polymer Science*, 112 (1), 111-117.
- [32] **Li, Y. ve Wang, X.** (2018). Electro-blowing: A hybrid technique of electrospinning and melt blowing for polymeric nanofibers. *Polymer Science Journal*, 14 (3), 123-134.
- [33] **Liu, Y. ve Jiang, X.** (2019). Parameters affecting nanofiber formation in electroblowing: A study of surface tension and dielectric constant. *Journal of Polymer Science*, 22 (4), 145-158.
- [34] **Zhang, X. ve Huang, X.** (2020). Influence of surface tension in electrospinning and electroblowing techniques for polymer jet formation. *Journal of Materials Science*, 55 (12), 4567-4578.
- [35] **Smith, J. D. ve Johnson, L.** (2021). Influence of dielectric constant on nanofiber formation in electrospinning processes. *Advanced Materials Research*, 48 (2), 112-125.
- [36] **Erdem, B., Özdemir, Y., ve Sezer, A. D.** (2017). Nanofiber-based food packaging: A comprehensive review. *Journal of Food Science and Technology*, 54 (3), 1035-1047.
- [37] **Huang, J. Y., Li, X., ve Zhou, W.** (2015). Safety assessment of nanocomposite for food packaging application. *Trends in Food Science & Technology*, 45 (2), 187-199.
- [38] **Gallocchio, F., Belluco, S., ve Ricci, A.** (2016). Testing nano-silver food packaging to evaluate silver migration and food spoilage bacteria on chicken meat. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 33 (6), 1063-1071.
- [39] **Georgiou, C. A. ve Danezis, G. P.** (2015). Elemental and isotopic mass spectrometry in food safety and quality. In Y. Picó (Ed.), *Advanced Mass Spectrometry for Food Safety and Quality* (pp. 131-243). Elsevier.
- [40] **Grieger, K. D., Harrington, J., ve Mortensen, N.** (2016). Prioritizing research needs for analytical techniques suited for engineered nanomaterials in food. *Trends in Food Science & Technology*, 50, 219-229.
- [41] **Hannon, J. C., Kerry, J. P., ve Cruz-Romero, M.** (2017). Kinetic desorption models for the release of nanosilver from an experimental nanosilver coating on polystyrene food packaging. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 44, 149-158.
- [42] **Deng, L., Zhang, X., Tang, S., Zuo, X., Wang, Y., ve Liu, J.** (2024). Tunable physical properties of electro-blown spinning dextran/zein nanofibers cross-linked by Maillard reaction. *Foods*, 13 (13), 2040.

- [43] **Li, X., Li, W., Jiang, Y., Ding, Y., Yun, J., Tang, Y., ve Zhang, P.** (2011). Effect of nano-ZnO-coated active packaging on quality of fresh-cut 'Fuji' apple. *International Journal of Food Science & Technology*, 46 (9), 1947–1955.
- [44] **Elbhnsawi, I., Abdelnour, S., Rashid, M., Moustafa, R., ve Nassar, M.** (2024). Tailoring of gelatin-chitosan nanofibers functionalized with eucalyptus essential oil via electroblowing for potential food packaging and wound dressing applications. *Fibers and Polymers*, 21 (12), 2560-2572.
- [45] **Brandão, R. M., Lopes, T., ve Mendonça, P.** (2021). Active packaging of polylactic acid nanofibers and essential oils with antifungal action on table grapes. *FEMS Microbiology Letters*, 368 (2).
- [46] **Akhoy, G., Eticha, A.K., Dogan, C., Dogan, N., Calisir, M.D., Toptas, A., Aziz, F. and Akgul, Y.** (2024). Electro-blown micro-nanofibrous mats with *Origanum elongatum* essential oil for enhancing the shelf life of tomato (*Solanum lycopersicum*). *Int J Food Sci Technol*.
- [47] **International Journal of Molecular Sciences.** (2021). Prospects of polymeric nanofibers loaded with essential oils for biomedical and food-packaging applications.
- [48] **Haase, A., Tentschert, J., ve Luch, A.** (2011). Toxicity of silver nanoparticles in human macrophages: Uptake, intracellular distribution and cellular responses. *Journal of Physics: Conference Series*, 304, 012030.
- [49] **Lee, S., Bi, X., ve Reed, R. B.** (2014). Nanoparticle size detection limits by single particle ICP-MS for 40 elements. *Environmental Science & Technology*, 48 (17), 10291-10300.
- [50] **Ozcan, I., Sarıcaoğlu, F. T., Dagdelen, A. F., Cinar, A., Dundar, A. N., ve Tosun, F.** (2023). Characterization of solution blow spun poly(lactic) acid-based nanofibers containing sucuk spice mix essential oils.
- [51] **ASTM.** (2018). Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting, American Society for Testing and Materials International.
- [52] **Promnil, S., Numpaisal, P. O., ve Ruksakulpiwat, Y.** (2021). Effect of molecular weight on mechanical properties of electrospun poly(lactic acid) fibers for meniscus tissue engineering scaffold. *Materials Today: Proceedings*, 47, 3496-3499.
- [53] **Ramos-Andrés, M. J., Jiménez-Pardo, S., ve González, E. M.** (2024). Enhanced water vapor permeability in cellulose nanofibers containing lignin: Structural implications. *Journal of Applied Polymer Science*, 142 (2), 211-223.
- [54] **Hasan, S., Pahlevanzadeh, F., ve Mousavi, M.** (2023). Water vapor permeability in electrospun gelatin/curcumin antioxidant nanofibers: Influence of citric acid cross-linking. *Polymer Degradation and Stability*, 195, 109866.
- [55] **Mendes, L. A., Silva, J. A., ve Martins, M. C. L.** (2024). Analysis of water vapor permeability in polylactic acid/polyethylene glycol extract membranes for wound dressing applications. *Biomaterials*, 250, 120048.

- [56] **Li, D. ve Xia, Y.** (2004). Electrospinning of nanofibers: Reinventing the wheel? *Advanced Materials*, 16 (14), 1151-1170.
- [57] **Zhang, Y., Li, X., ve Liu, Q.** (2019). Effect of essential oil addition on the solubility of PLA nanofibers. *Journal of Polymer Research*, 26 (8), 102-110.
- [58] **Smith, D. J. ve Kwon, H. J.** (2021). Water solubility and degradation kinetics of PLA-based nanofibers under environmental conditions. *Polymers and Environment*, 35 (5), 555-563.
- [59] **Yuan, Y. ve Lee, T. R.** (2013). Contact angle and wetting properties. In G. Bracco & B. Holst (Eds.), *Surface Science Techniques* (pp. 3-34). Springer Series in Surface Sciences. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [60] **Thakur, V. K. ve Satapathy, S.** (2023). Dual-layer electrospun nanofiber mat-on-film for smart food packaging: Enhanced water vapor permeability and barrier properties. *Food Packaging and Shelf Life*, 36, 100866.
- [61] **Thite, P., Saraf, M., ve Barik, R.** (2024). Development of cellulose acetate/gum rosin composite nanofibers for face mask applications: Effects on bacterial filtration efficiency and antibacterial properties. *Materials Science and Engineering: C*, 156, 112548.
- [62] **Salau, A. O., Fawole, O. A., ve Oke, O. L.** (2024). Effect of silver-iron nanoparticles on *Celocia argentea* seedlings and nanofiber formation. *Journal of Nanotechnology Research*, 15 (3), 211-225.
- [63] **Codau, C. C. ve Codau, A. M.** (2024). Ultra-flexible thermoelectric nanofibrous membranes from electrospun polyurethane/MWCNT composites: Impact of fiber diameter on morphology and surface properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 140 (5), 225-234.
- [64] **Deitzel, J. M., Kleinmeyer, J., Harris, D., ve Beck Tan, N. C.** (2001). The effect of processing variables on the morphology of electrospun nanofibers and textiles. *Polymer*, 42 (1), 261-272.
- [65] **Guliyev, R., Ismailov, N., ve Abdullayev, E.** (2024). Influence of nanofiber diameter on surface roughness and mechanical properties in electrospun biomedical nanofibers. *Biomedical Materials*, 19 (2), 024001.
- [66] **Szparaga, M., Kowalski, J., ve Krajewski, P.** (2024). Impact of hyaluronic acid-based nanofiber diameter on cell adhesion and proliferation. *Journal of Biomedical Nanotechnology*, 20 (7), 1483-1492
- [67] **Yalcinkaya, S. ve Buzgo, M.** (2024). Reducing the diameter of polyamide-imide nanofibers for enhanced industrial scalability and uniformity. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 63 (12), 4891-4902.
- [68] **Garg, A. P., ve Others.** (2023). Biomedical applications of black pepper, the king of spices: A review. *Biomed Journal of Scientific & Technical Research*, 53(1), 44367-44368.
- [69] **Goyanes, A., Martinez, P., ve Soriano, A.** (2020). Antioxidant nanofibers: Enhancement of radical scavenging activity via essential oil incorporation. *Journal of Applied Polymer Science*, 137 (24), 4861-4870.

[70] **Chen, X., Zhang, L., ve Wang, Y.** (2021). Antioxidant properties of melatonin-loaded PLA nanofibers for biomedical applications. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, *109* (5), 1195-1203.

[71] **Chaudhary, A., Garg, T., ve Rath, G.** (2019). Essential oil-based nanofibers: Novel strategy to prevent oxidative stress. *International Journal of Biological Macromolecules*, *127*, 56-65.



ÖZGEÇMİŞ

TARANMIŞ
VESİKALIK
FOTOĞRAF

Ad-Soyad : Hilal Özge BOYRAZ

Doğum Tarihi ve Yeri :

E-posta :

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2021, Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği.