

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRODÖNDÜRME TEKNİĞİ İLE ÜRETİLEN KURKUMİN YÜKLÜ GLİADİN
NANOLİFLERİNİN ÜRETİMİ ve KARAKTERİZASYONU**

PERİHAN KÜBRA ÇİÇEK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
GIDA MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. MUSTAFA TAHSİN YILMAZ**

İSTANBUL, 2016

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRODÖNDÜRME TEKNİĞİ İLE ÜRETİLEN KURKUMİN YÜKLÜ GLİADİN NANOLİFLERİNİN
ÜRETİMİ ve KARAKTERİZASYONU**

Perihan Kübra ÇİÇEK tarafından hazırlanan tez çalışması 25.04.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Mustafa Tahsin YILMAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Mustafa Tahsin YILMAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Osman SAĞDIÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Ertan ERMİŞ
Sebahattin Zaim Üniversitesi



ÖNSÖZ

Tezimi hazırlama sürecinde bilgi ve tecrübeleriyle yol gösteren, aynı zamanda manevi desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Mustafa Tahsin YILMAZ'a, laboratuvar ve ekipman konusunda yardımlarını esirgemeyen başta Prof. Dr. Osman SAĞDIÇ olmak üzere YTÜ Gıda Mühendisliği Bölümü Kıymetli Öğretim Üyelerine, bilhassa elektrodöndürme cihazı ile destek sağlayan Yrd. Doç. Dr. M. Zeki DURAK'a en derinden şükranlarımı sunarım.

Çalışmamda yer alan bazı analizlerin gerçekleştirilmesi hususunda yardımlarını esirgemeyen Erciyes Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Safa KARAMAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca bilgi ve becerisiyle her türlü konuda yardımcı olan değerli çalışma arkadaşım Fatih BOZKURT'a, yine bilgi ve tecrübeleriyle yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Ömer Sait TOKER'e, Arş. Gör. Zafer CEYLAN'a ve Arş. Gör. Ruşen METİN YILDIRIM'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Nisan, 2016

Perihan Kübra ÇİÇEK

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı.....	2
1.3 Hipotez.....	2
BÖLÜM 2	
KURAMSAL TEMELLER	3
2.1 Kurkumin	4
2.1.1 Kurkuminin Kimyasal Yapısı.....	4
2.1.2 Kurkuminin Uygulama Alanları.....	5
2.2 Nanoteknoloji ve Gıda Biliminde Kullanımı	6
2.3 Nanoyapılar	8
2.3.1 Nanolifler ve Kullanım Alanları.....	8
2.3.1.1 Nanolif Üretim Yöntemleri	9
2.4 Elektrodöndürme Yöntemi	10
2.4.1 Elektrodöndürme Yönteminde Etkili Olan Parametreler	12
2.4.1.1 Viskozite	12
2.4.1.2 Konsantrasyon	12
2.4.1.3 Moleküler Ağırlık.....	13
2.4.1.4 Yüzey Gerilimi	13
2.4.1.5 Elektriksel İletkenlik	14
2.4.1.5 Dielektrik Sabiti	14
2.4.1.6 Voltaj.....	15

2.4.1.7	Şırınga Ucu ve Polimer Çözeltisi Besleme Debisi	15
2.4.1.8	Toplayıcı Plaka ile Besleme Ucu Arasındaki Mesafe	15
2.4.1.9	Toplayıcı Plakanın Tipi	16
2.4.1.10	Çevresel Faktörler	16
2.4.2	Elektrodöndürme Yönteminde Kullanılan Polimerler	17
2.4.2.1	Selüloz	17
2.4.2.2	Kitosan	17
2.4.2.3	Aljinat	18
2.4.2.4	Zein	18
2.4.2.5	Kazein	18
2.4.2.6	Jelatin	19
2.4.2.7	Maltodekstrin	19
2.4.2.8	Gliadin	19
2.5	Enkapsülasyon	20
2.5.1	Enkapsülasyon Yöntemleri	21
2.5.1.1	Püskürterek Kurutma Yöntemi	21
2.5.1.2	Püskürterek Dondurma Yöntemi	22
2.5.1.3	Ekstrüzyon Yöntemi	22
2.5.1.4	Emülsifikasyon Yöntemi	23
2.5.1.5	Koeservasyon/Faz ayrımı Yöntemi	24
2.5.1.6	Lipozom	24
2.5.1.7	Elektrodöndürme Yöntemi	25
2.6	Elektrodöndürme Yöntemi ile Üretilen Nanoliflerin Karakterizasyonu	25

BÖLÜM 3

MATERYAL VE YÖNTEM	27
3.1 Materyal	27
3.2 Yöntemler	27
3.2.1 Besleme Çözeltilerinin Hazırlanması	27
3.2.2 Besleme Çözeltilerinin Reolojik Karakterizasyonu	27
3.2.3 Elektrodöndürme İşlemi	28
3.2.4 Renk Analizi	29
3.2.5 Floresans Emisyon Özelliği	30
3.2.6 ATR-FTIR Spektroskopisi ile Moleküler Karakterizasyon	30
3.2.7 Nanoliflerin Termal karakterizasyonu	30
3.2.8 Zeta Potansiyel Analizi	31
3.2.9 Nanoliflerin Morfolojik Karakterizasyonu	31
3.2.10 Nanoliflerin Yapısal Karakterizasyonu	31
3.2.11 Enkapsülasyon etkinliği	31
3.2.12 <i>In vitro</i> Kontrollü Salınım Analizi	32
3.2.13 Antioksidan Aktivite Analizi	32
3.2.14 Antibakteriyel Aktivite Analizi	33
3.2.15 İstatistiksel Analizler	32

BÖLÜM 4

ARAŞTIRMA BULGULARI	34
4.1 Besleme Çözeltilerinin Reolojik Özellikleri	34
4.2 Nanoliflerin Renk Özellikleri	36
4.3 Nanoliflerin Floresans Emisyon Özellikleri	37
4.4 Nanoliflerin ATR- FTIR Spektroskopisi ile Moleküler Karakterizasyonu	38
4.5 Nanoliflerin DSC ile Termal Karakterizasyonu	40
4.6 Zeta Potansiyel Analizi	42
4.7 Nanoliflerin SEM ile Morfolojik Karakterizasyonu	43
4.8 Nanoliflerin XRD ile Yapısal Karakterizasyonu	45
4.9 Enkapsülasyon Etkinliği	48
4.10 <i>In vitro</i> Kontrollü Salınım	48
4.11 Antioksidan Aktivite	50
4.12 Antibakteriyel Aktivite	51
BÖLÜM 5	
SONUÇ ve ÖNERİLER	52
KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ	65

SİMGE LİSTESİ

A_{kontrol}	Kontrol absorbans değeri
$A_{\text{örnek}}$	Örnek absorbans değeri
C^*	Kroma değeri
h^0	Hue açısı
L	Renk parlaklık değeri
T_e	Bitiş sıcaklık değeri
T_g	Camsı geçiş sıcaklık değeri
T_o	Başlangıç sıcaklık değeri
T_p	Pik sıcaklık değeri
σ	Kesme basıncı
Υ	Kesme hızı
ξ	Zeta potansiyel
μ	Elektroforetik hareketlilik
ϵ	Solvent dielektrik katsayısı
η	Viskozite

KISALTMA LİSTESİ

AA	Antioksidan aktivite
ATR-FTIR	Azaltılmış toplam reflektans-Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
DPPH	2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl
DSC	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
FC	Folin-Ciocalteau
KYGN	Kurkumin Yüklü Gliadin Nanolifi
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	X-Işını Difraktometresi

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	<i>Curcuma longa</i> bitkisi ve rizomları	4
Şekil 2.2	Kurkuminin kimyasal yapısı	5
Şekil 2.3	Bazı nanoyapılar	8
Şekil 2.4	Farklı sektörlerdeki nanolif uygulamaları	9
Şekil 2.5	Taylor konisi ve jet oluşumu	11
Şekil 2.6	Elektrodöndürme yönteminin şematik gösterimi	12
Şekil 2.7	Enkapsüle material	21
Şekil 2.8	Probiyotik bakterilerin püskürterek kurutma yöntemi ile enkapsülasyonu ..	22
Şekil 2.9	Ekstrüzyon yöntemi	23
Şekil 2.10	Lipozomun yapısı	24
Şekil 2.11	Gıda ve gıda ambalajlama endüstrisinde nanoteknoloji uygulamaları	25
Şekil 3.1	Elektrodöndürme cihazı.....	28
Şekil 4.1	Farklı oranlarda kurkumin içeren gliadin çözeltilerinin akış davranışı	33
Şekil 4.2	Gliadin nanolifi	36
Şekil 4.3	Gliadin nanolifi, kurkumin ve kurkumin yüklü gliadin nanoliflerine (KYGN) ait ATR-FTIR spektrumları	37
Şekil 4.4	Gliadin nanolifi ve kurkumin yüklü gliadin nanoliflerine (KYGN) ait DSC termogramı	39
Şekil 4.5	Kurkumine ait DSC termogramı	40
Şekil 4.6	Gliadin nanolifi SEM görüntüleri (20.00 K X)	42
Şekil 4.7	Gliadin nanolifi SEM görüntüleri (10.00 K X)	43
Şekil 4.8	Gliadin nanolifi SEM görüntüleri (5.00 K X)	43
Şekil 4.9	Kurkuminin XRD grafiği	44
Şekil 4.10	Gliadin nanolifinin XRD grafiği	44
Şekil 4.11	%2 KYGN'nin XRD grafiği	45
Şekil 4.12	%5 KYGN'nin XRD grafiği	45
Şekil 4.13	%10 KYGN'nin XRD grafiği	46
Şekil 4.14	Kurkumin yüklü gliadin nanoliflerinden kurkuminin kontrollü salınımı.....	48

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 Farklı oranlarda kurkumin içeren gliadin çözeltilerinin Newtonian Model parametreleri	34
Çizelge 4.2 Farklı oranlarda kurkumin içeren gliadin nanoliflerinin renk özellikleri	35
Çizelge 4.3 Kurkumin ve nanoliflere ait DSC parametreleri	40
Çizelge 4.4 Gliadin nanolifi ve kurkumin yüklü gliadin nanoliflerine (KYGN) ait zeta potansiyel değerleri	41
Çizelge 4.5 Kurkumin yüklü gliadin nanoliflerine ait enkapsülasyon etkinlikleri	47
Çizelge 4.6 Gliadin nanolifi ve kurkumin yüklü gliadin nanoliflerinin (KYGN) antioksidan aktivitesi	49
Çizelge 4.7 Gliadin nanolifi ve kurkumin yüklü gliadin nanoliflerinin (KYGN) antioksidan aktivitesi	50

ELEKTRODÖNDÜRME TEKNİĞİ İLE ÜRETİLEN KURKUMİN YÜKLÜ GLİADİN NANOLİFLERİNİN ÜRETİMİ ve KARAKTERİZASYONU

Perihan Kübra ÇİÇEK

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mustafa Tahsin YILMAZ

Gıda endüstrisinde de gıda ürünlerinin raf ömrünün uzatılması, fonksiyonelleştirilerek yararlı etkilerinin artırılması ve doğal biyokoruyucularla muhafazasının sağlanması amacıyla gerçekleştirilen nanoteknolojik uygulamalarda protein gibi doğal polimerlerin kullanımı büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla kullanılan proteinlerden biri de gluten proteininin büyük fraksiyonlarından biri olan gliadindir. Gliadin, insan metabolizması ile uyumlu olması ve mide mukozasında oldukça iyi tutunması sayesinde pek çok gıda ürününün muhafazası ve fonksiyonelleştirilmesinde kullanılan biyoaktif maddelerin taşınmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Bu çalışmada, doğal biyoaktif bileşenlerden biri olan kurkumin, elektrodöndürme yöntemi ile gliadin proteininin içine enkapsüle edilerek, farklı konsantrasyonlarda (%2, %5 ve %10) kurkumin yüklü nanolifler üretilmiş ve karakterize edilmiştir.

İlk etapta, elektrodöndürme işlemine tabi tutulacak kurkumin içeren ve içermeyen polimer çözeltilerinin reolojik analizi yapılarak akış davranışları belirlenmiştir. Buna göre, bütün çözeltilerin Newtonian akış modeli sergilediği belirlenmiştir. İkinci etapta, üretilen nanoliflerin ATR-FTIR ile moleküler karakterizasyonu, DSC ile termal karakterizasyonu, SEM ile morfolojik karakterizasyonu ve XRD ile yapısal karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bunlarla birlikte nanoliflerin enkapsülasyon etkinliği, floresans emisyon özelliği, zeta potansiyel ile dispersiyon stabilitesi, in vitro kontrollü salınımı, antioksidan aktivitesi ve antibakteriyel aktivitesi belirlenmiştir.

Yapılan analizlerin sonucunda, kurkuminin %80-85 oranında enkapsüle edildiği ve elde edilen kurkumin yüklü nanoliflerin kurkumin konsantrasyonu artışı ile doğru orantılı olarak %56-90 oranında antioksidan aktivite ve %60-87 oranında antibakteriyel aktivite gösterdiği belirlenmiştir. DSC analizi, kurkuminin gliadin nanoliflerinin termal stabilitesini artırdığını göstermiştir. Nanoliflerdeki kurkumin konsantrasyonu arttıkça termal stabilite de artış göstermiştir. SEM görüntüleri ile nanoliflerin oldukça homojen ve pürüzsüz bir yapı sergilediği, dolayısıyla kurkuminden kaynaklanan herhangi bir agregasyon olmadığı belirlenmiştir.

Sonuç olarak bu çalışma göstermektedir ki, gliadin lifinin biyobozunur olması, kolay metabolize edilebilmesi ve kurkumin gibi biyoaktif maddeler için uyumlu bir enkapsülasyon materyali olması, bu polimerin gıda sistemleri ile biyoaktif maddelerin taşınması açısından cazip bir taşıyıcı materyaldir.

Anahtar Kelimeler: Elektrodöndürme, kurkumin, gliadin, nanolif, enkapsülasyon



**FABRICATION and CHARACTERIZATION of CURCUMIN LOADED GLIADIN
NANOFIBERS by ELECTROSPINNING METHOD**

Perihan Kübra ÇİÇEK

Department of Food Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Mustafa Tahsin YILMAZ

In this study, the feasibility and potential of gliadin nanofiber as a delivery vehicle for curcumin in food applications was investigated. By optimizing the electrospinning parameters, homogenous and fine gliadin nanofibers containing curcumin were fabricated with interconnected fibrous networks. We determined that these nanofibers show an increase in fluorescence by way of the internalisation of curcumin. The morphology and material properties of the resulting multifunctional nanofiber were examined by a field emission-scanning electron microscope (SEM), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), differential scanning calorimetry (DSC) and X-Ray Diffractometry (XRD). SEM and fluorescence images showed that the uniform fibers with smooth surface. The in vitro evaluations suggested that the curcumin incorporated gliadin nanofibers showed controlled release of curcumin and maintained its free radical scavenging ability. The results demonstrate that the curcumin loaded gliadin nanofiber could be a good candidate for food industry and has the potential for further applications in bioactive delivery system.

Keywords: Electrospinning, curcumin, gliadin, nanofiber, encapsulation

1.1 Literatür Özeti

Birçok bitkinin, meyve ve sebzenin yapısında doğal olarak bulunan aktif bileşenlerin hastalıkları önleyici veya tedavi edici özelliği olduğu bilinmektedir [1]. Özellikle de bitkilerin antik çağlardan beri tıbbi amaçlı kullanıldığı kayıtlara geçmiştir [2], [3]. Bu bitkiler içerdikleri yüksek miktardaki fenolik bileşenler sayesinde antimikrobiyal, antioksidan, antikarsinojen ve antiinflamatuvar aktivite göstermektedirler ve bu nedenle tıp, eczacılık, kozmetik ve gıda endüstrisi gibi birçok alanda kullanılmaktadırlar [2], [4], [5]. Özellikle gıda endüstrisinde gıdaların korunması ve fonksiyonelleştirilerek insan sağlığı için daha yararlı hale getirilmeleri açısından büyük önem taşımaktadırlar. Bu biyoaktif bileşenlerin ürünlerin işlenmesi ve depolanması sırasında etkisini kaybetmemesi ve vücuda alındığında gastrointestinal sistemde kontrollü bir şekilde salınım gösterebilmesi için çeşitli koruma mekanizmaları gerekmektedir [6]. Bu mekanizmalardan biri de biyoaktif bileşenlerin enkapsülasyonudur. Enkapsülasyon, 50 yıldan fazladır tıp, eczacılık, biyoloji ve gıda alanlarında biyoaktif bileşenlerin korunması için kullanılan bir tekniktir. Koruyucu bir kaplama materyali ile etrafı tamamen sarılan biyoaktif madde nem, ısı, ışık ve ortamdaki diğer reaktif maddeler gibi zararlı dış etkenlerden tamamen korunmuş olur [8]. Enkapsülasyon işleminde kapsüllerin oluşturulması için çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Bu teknikler püskürterek kurutma, püskürterek soğutma ve dondurma, ekstrüzyon kaplama, lipozom ile kaplama, emülsifikasyon, koazervasyon ve elektrodöndürme tekniği olarak sıralanabilir [9], [10], [11]. Bu teknikler içinde elektrodöndürme yöntemi, biyoaktif bileşenlerin çeşitli

polimerlerle mikro/nano boyutta ve farklı morfolojik yapılarda enkapsülasyonunu sağlaması açısından diğer yöntemlere kıyasla daha avantajlıdır [12].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, gliadin proteininin içine doğal bir biyoaktif madde olan kurkuminin elektrodöndürme yöntemi ile farklı konsantrasyonlarda enkapsüle edilerek nanolif üretilmesi ve üretilen kurkumin yüklü nanoliflerin morfolojik, moleküler ve termal karakterizasyonunun gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Bununla birlikte, nanoliflerin antibakteriyel, antioksidan aktivitelerinin belirlenmesi ve kontrollü salınım kinetiğinin incelenmesi de hedeflenmiştir.

1.3 Hipotez

Elektrodöndürme tekniği ile gerçekleştirilen enkapsülasyon işlemi sayesinde, bu çalışmada kullanılan kurkumin gibi biyoaktif maddelerin çok daha sağlam şekilde korunması sağlanmakta ve fonksiyonelliği artırılmaktadır. Gliadin gibi doğal polimerlerden üretilen liflere enkapsüle edilen biyoaktif bileşenler metabolizma ile uyum gösterirler ve kontrollü şekilde salınarak sağlık açısından yüksek biyoyararlılık sağlarlar.

BÖLÜM 2

KURAMSAL TEMELLER

İnsan sağlığı açısından gerekli olan vitaminler, polifenoller, mineraller antioksidanlar gibi biyoaktif maddeler gıdalardan yeterince karşılanamadığından dolayı gıda ürünlerini bu maddeler bakımından zenginleştirmek gerekmektedir. Fakat bu biyoaktif maddelerin, gıda üretimi ve depolama esnasında veya vücuda alındıktan sonra sindirim sırasında stabilitelerinde azalma meydana gelmekte ya da stabiliteleri tamamen kaybolmaktadır [13]. Bu durum biyoaktif maddelerin uygun bir taşıma sisteminin içine hapsedilmesiyle kısmen önlenebilir. Enkapsüle edilen biyoaktif maddelerin gıda üretimi sırasında fiziksel kimyasal veya enzimatik olarak parçalanması önlenerek daha iyi korunmaları sağlanabilir. Bu amaçla organik veya inorganik taşıyıcı materyaller kullanılır. Bu taşıyıcılar içinde özellikle organik polimerler doğada bozunabilir, vücut ile uyumlu, ucuz, kolay ulaşılabilir olduğu için daha çok tercih edilmektedir [14], [15], [16]. Zein, gliadin ve jelatin gibi pek çok hayvansal ve bitkisel kaynaklı protein, biyoaktif maddelerin enkapsülasyonunda kullanılmaktadır.

Genel olarak, biyoaktif bileşenleri (BA) enkapsülasyonunda kullanılan geleneksel yöntemlerde (örneğin oral veya intravenöz yolla taşıma), bu maddelerin hedefe ulaşmaları açısından bazı zorluklar mevcuttur [17]. Ayrıca, sindirim sistemindeki asidik ortam biyoaktif bileşenlerin hızla bozulmasına neden olur. Bu nedenle biyoaktif bileşenlerin muhafazası için asidik ortamı tolere edebilen bir taşıma sistemi tasarlamak gerekmektedir. Bu amaçla, son yıllarda bir hayli popüler olan elektrodöndürme yöntemi ile fonksiyonel biyoaktif bileşenlerin korunmasında ve vücuda alınmasında çok yüksek verimlilik sağlanmaktadır.

2.1 Kurkumin

Kurkumin, *Curcuma longa* bitkisinden izole edilen doğal polifenolik biyoaktif bir bileşendir [18], [1] ve gıda endüstrisinde katkı maddesi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır [19]. Yaygın olarak tropikal ve yarı tropikal bölgelerde yetiştirilmektedir ve en büyük üreticisi Hindistan'dır [20]. Bitki 60-90 cm uzunluğundadır ve kısa saplı dikdörtgen sorguçlu yaprakları vardır. Sahip oldukları rizomlar pürüzlü ve segmentlidir. İç rengi mat turuncu olan rizomların dış rengi sarımsı kahverengidir ve toz haline getirildiğinde parlak sarı renk alır [21]. *Curcuma longa* bitkisinin yetişmesi için 20-30 °C arasında sıcaklık değerine ve yaklaşık 1500 mm yağışa ihtiyaç vardır. İyi drene edilmiş, kumlu ve humus bakımından zengin topraklarda çok iyi gelişir. Hasatı Ocak-Mart dönemlerinde gerçekleştirilir ve rizomları yaklaşık 9 ay içinde olgunlaşır [22]. *Curcuma longa* bitkisi ve rizomları Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



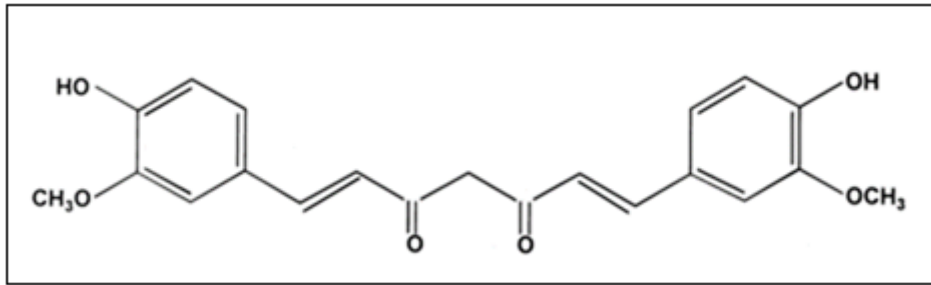
Şekil 2.1 *Curcuma longa* bitkisi ve rizomları [23]

Yetiştirildiği bölgeye ve yetiştirilme şartlarına bağlı olarak *Curcuma longa* %2-9 oranında kurkuminoid içerir. “Kurkuminoid” tabiri kurkumin, demetoksikurkumin, bis-demetoksikurkumin ve siklikkurkumin olmak üzere bir grup bileşeni ifade etmektedir. Bu bileşenlerden kurkumin en önemlisi ve fazla bulunanı, siklikkurkumin ise en az bulunanıdır [20].

2.1.1 Kurkuminin Kimyasal Yapısı

Kurkumin *Curcuma longa* bitkisinin rizomlarında bulunan hidrofobik fitokimyasal bir bileşendir ve kimyasal yapısı [1,7-bis(4-hidroksi-3-metoksifenil)-1,6-heptadien-3,5-

dion] olarak ifade edilmektedir [24]. Kurkuminin kimyasal yapısı Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Kurkuminin kimyasal yapısı [20]

Kurkumin yapısında o-metoksi fenolik gruplarını içeren iki aromatik halka ve karbon bağları ile bağlı bir α,β -doymamış β diketon grubu bulundurulur [25]. Suda neredeyse hiç çözünmez, fakat dimetilsülfoksit, metanol, etanol, asetonitril, kloroform ve etilasetat gibi polar çözücülerde rahatlıkla çözünür. Sikloheksan ve heksan gibi hidrokarbon çözücülerde yavaş yavaş çözünür. Kurkuminin absorpsiyon spektrasında iki kuvvetli absorpsiyon bandı bulunur. Bunlardan birincisi 410-430 nm aralığındaki görünür bölgede, ikincisi ise 265 nm UV bölgesindedir [20]. Kurkuminin sulu çözeltileri surfaktanlar, lipidler, albüminler, siklodekstrinler ve biyopolimerler kullanılarak hazırlanabilir. Bunlar içinde surfaktanlar en verimli ve yüksek konsantrasyonda sulu kurkumin çözeltisi oluşturulmasını sağlar [26].

2.1.2 Kurkuminin Uygulama Alanları

Kurkumin çok kolay metabolize olan, yüksek oranda biyoyoumlu ve biyobozunur bir biyoaktif maddedir [28]. Birçok çalışmada belirtildiği gibi antibakteriyel, antifungal, antikarsinojen, antiinflamatuvar ve antioksidan etki olmak üzere oldukça önemli terapötik fonksiyonları vardır [28], [29], [30]. Ayrıca kistik fibroz ve Alzheimer hastalıklarına karşı da etkili olduğu rapor edilmiştir [31]. Ancak kurkuminin suda çözünürlüğünün düşük olması ve metabolik işlemlere karşı hassas olması biyoyararlılığının önündeki en büyük engeldir ve kurkuminin kullanımını kısıtlamaktadır. Bu engelleri ortadan kaldırmak amacıyla kurkuminin nano boyutlara getirilmesi veya farklı biyopolimerlerle enkapsüle edilerek nanolif/nanopartikül oluşturulması gibi çalışmalar yürütülmüştür. Örneğin Yen vd. [1] tarafından yürütülen

bir çalışmada, nanopartikül haline getirilen kurkuminin stabilitesinin yanı sıra antioksidan ve antihepatoma aktivitesinin de arttığı belirlenmiştir. Lian vd. [32] tarafından yürütülen bir diğer çalışmada, kurkumin elektrodöndürme yöntemi ile polimer matriks içine enkapsüle edilerek nanolif üretilmiş ve böylelikle mekaniksel özellikleri iyileştirilmiştir. Ayrıca, liflerden kontrollü şekilde salınım göstermesi ile Staphylococcus aureus gelişimini yaklaşık %95 oranında inhibe ettiği belirlenmiştir.

2.2 Nanoteknoloji ve Gıda Biliminde Kullanımı

“Nano” kelimesi herhangi bir ölçü biriminin milyarda biridir (10^{-9}) ve nanoteknoloji nanometre ölçeğindeki maddelerin işlenmesi ve karakterize edilmesini kapsar [33]. Başka bir ifadeyle nanoteknoloji, maddelerin çok küçük boyutlarda işlenmesi, tasarlanması ve modellenmesi ile maddeye tamamen yeni fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler kazandırabilen, yenilikçi ve hızla gelişen bir bilim dalıdır [34]. Nanoteknoloji tıp, otomotiv, elektrik-elektronik, eczacılık, doku mühendisliği, malzeme, tekstil, gıda gibi birbirinden farklı birçok alanın bulunduğu ortak bir noktadır. Diğer alanlarla karşılaştırıldığında nanoteknolojinin gıda alanındaki uygulamalarının biraz daha sınırlı olduğu söylenebilir [34]. Bununla birlikte tarımda kar oranının artırılması, ambalaj ve gıda işleme teknolojisinin gelişimi ve gıdaların besin değerinin artırılması gibi amaçlara yönelik olarak nanoteknolojinin gıda bilimindeki uygulamaları giderek ivme kazanmaktadır [35]. Bu sayede, gıda içinde bulunan çeşitli bileşenler moleküler seviyede istenen özelliklere göre tasarlanabilir ve farklı renk, aroma, biyoaktif madde taşıyan nanoyapıların gıdalara ilave edilmesiyle fonksiyonel gıda ürünleri geliştirilebilir [34].

Gıda alanındaki nanoteknoloji uygulamaları dört ana başlık altında toplanabilir. Bunlar: Gıdaların işlenmesi ve yeni fonksiyonel ürünlerin geliştirilmesi, biyoaktif bileşenlerin ve nutrasötik maddelerin taşınımı ve kontrollü salınımı, patojenlerin saptanması ve gıda güvenliğinin artırılması, ürün kalitesi ve raf ömrünü iyileştirecek paketleme sistemlerinin geliştirilmesi olarak sıralanabilir [34]. Bu başlıklarla alakalı olarak yapılan çalışmalara aşağıda örnekler verilmektedir:

1. Gıda işleme ve fonksiyonel ürün geliştirme;

- Aroma, renk ve besin öğelerinin nanoemülsiyonlar ve nanokapsüller aracılığıyla enkapsüle edilerek duyuusal ve teknolojik karakterleri geliştirilmiş fonksiyonel gıda ürünlerinin üretilmesi [36], [37]
- Çeşitli bitki ekstraktlarından nano boyutta toz veya nanoemülsiyon formülasyonlarının geliştirilmesi [38]
- Sıvı gıdalardan monovalent katyonların uzaklaştırılması, sıvı ürünlerin belli bir oranda saflaştırılması, dezenfeksiyonu ve toksinlerin uzaklaştırılması için nano boyutta gözeneklere sahip membran ve nanofiltrasyon uygulamalarının geliştirilmesi [39], [40]

2. Biyoaktif maddelerin taşınması ve kontrollü salınımı;

- Proteinler, vitaminler ve mineraller, esansiyel yağlar, antioksidantlar gibi çeşitli bileşenlerin taşınmasında nanokapsüllerin kullanılması ve böylelikle bu bileşenlerin uygun olmayan çevre koşullarına karşı korunarak vücutta hedef bölgede kontrollü salınımının gerçekleştirilmesi ve biyoyararlılığının artırılması; biyoaktif maddelerin gıdaların prosese tabi tutulması ve depolanması esnasında istenmeyen reaksiyonlara girerek zararlı bileşenlere dönüşmelerinin önüne geçilmesi [41], [42]
- Lipofilik maddelerin suda çözünmesini, hidrofilik maddelerin ise yağda çözünmesini sağlamak için nanoemülsiyonların oluşturulması ve böylelikle bu karakterlerdeki biyoaktif maddelerin su, yağ bazlı matrisler veya meyve içeceklerinde dağılımının sağlanarak biyoyararlılığının artırılması [43]

3. Gıda güvenliği;

- Gıdalardaki patojen mikroorganizmaları hızlı şekilde tespit edebilmek için hassasiyeti yüksek nanosensörlerin kullanılması [40], [44]
- Patojenler için özel olan antikorlar kullanılarak veya nanokanallar ile geliştirilen dedektörler sayesinde gıda ürünlerinde bulunan toksin, patojen ve zararlı kimyasal maddelerin tespit edilmesi [45]

4. Ambalajlama;

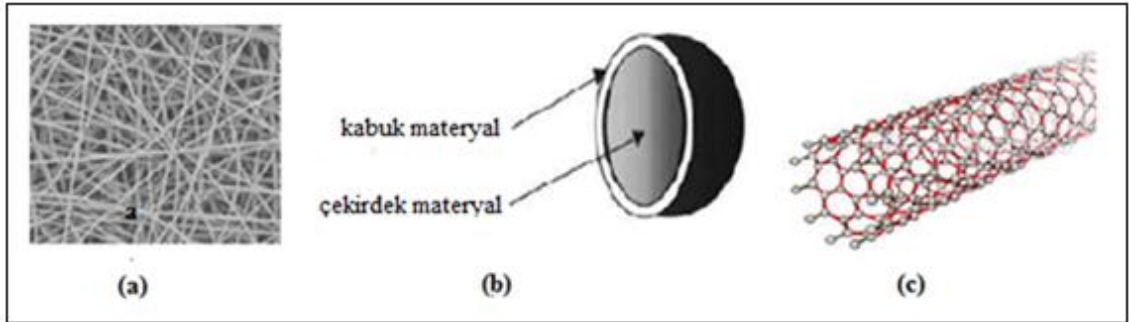
- Ambalaj malzemelerine gümüş gibi çeşitli nanoparçacıkların eklenmesiyle malzemenin geçirgenliğinin değiştirilmesi, ambalajın iç yüzeyine oksijen tutucu özellik kazandırılarak anaerobik ortam oluşturulması ve böylece antimikrobiyal ve antifungal yüzeyler oluşturulması [46], [47], [48]
- Ambalaj materyallerinin gaz geçirgenliklerinin sınırlandırılması için çeşitli nanokompozitlerin kullanılması ve böylece kötü kokuların engellenerek ürünün tazeliğinin korunması ve raf ömrünün uzatılması [48]

2.3 Nanoyapılar

Nanoyapılar;

- Nanoparçacıklar,
- Nanokatmanlar,
- Nanopor malzemeler,
- Nanoemülsiyonlar,
- Nanotüpler, nanoteller ve nanoçubuklar olarak sınıflandırılabilir [33].

Şekil 2.3'te bazı nanoyapılar gösterilmektedir.

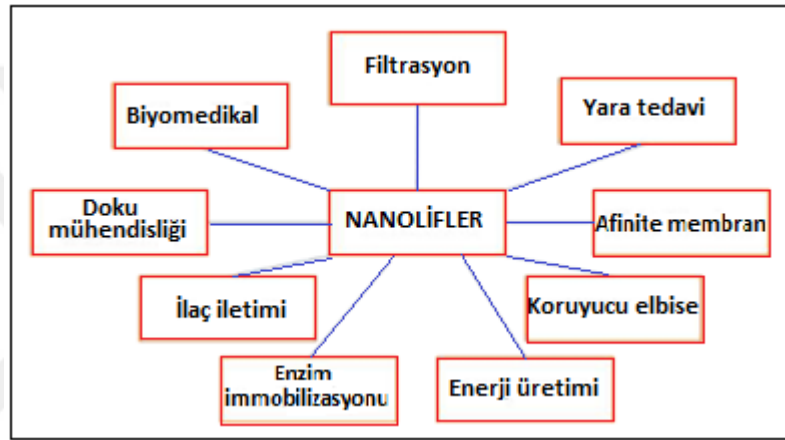


Şekil 2.3 Bazı nanoyapılar: (a) nanolif, (b) nanokapsül, (c) nanotüp [49]

2.3.1 Nanolifler ve Kullanım Alanları

Çapı nanometre mertebesinde değişebilen lifler “nanolif” olarak ifade edilmekte ve seramik, tekstil, elektronik, biyoloji, doku mühendisliği, tıp gibi çeşitli alanlarda farklı amaçlarla yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra gıda alanında

antimikrobiyal ajanların, antioksidanların, fonksiyonel bileşiklerin, enzimlerin, renk maddelerinin, aroma maddelerinin iletimi için taşıyıcı olarak kullanılırlar. Böylece nanolifler sayesinde bileşiklerin kontrollü ve yavaş salınımı sağlanabilmekte ve özel bileşikler nanolifler içerisinde daha iyi korunmakta ve daha stabil halde tutulabilmektedir [51], [52], [53]. Nanolifler, yüksek porozite özelliği, gözenek boyutlarının kontrol edilebilmesi, yumuşak ve stabil bir yapıda olması, yüksek oranda spesifik yüzey alanına ve düşük özgül ağırlığına sahip olması sayesinde birçok uygulama alanında kolaylık sağlamaktadır [33]. Farklı sektörlerdeki nanolif uygulamaları Şekil 2.4'te gösterilmektedir.



Şekil 2.4 Farklı sektörlerdeki nanolif uygulamaları [33]

2.3.1.1 Nanolif Üretim Yöntemleri

Doğal ve sentetik polimerlerden üretilebilen nanoliflerin üretim yöntemleri

- Fibrilasyon ile nanolif üretimi
- Eriyikten (meltblown) nanolif üretimi
- Çiftbileşenli nanolif üretimi
- Elektrodöndürme ile nanolif üretimi şeklinde sıralanabilir [54].

Fibrilasyon ile nanolif üretimi, selülozik liflerin daha ince lifçikler haline dönüştürülmesidir. Çözünme, jelleşme, dondurma ve nanogözeneklere sahip köpük oluşacak şekilde kurutma işlemlerini içeren bir yöntemdir. Özellikle mikrobiyoloji alanında kullanılan filtrelerin üretiminde kullanılmaktadır [55].

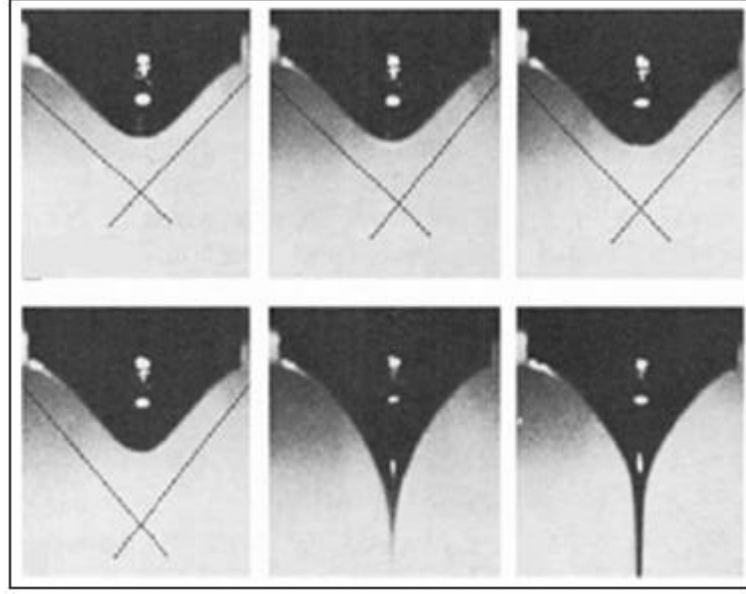
Eriyikten nanolif üretimi, küçük çaplı lif üretiminde yaygın şekilde kullanılan bir yöntemdir. Öncelikle sıvı hale getirilen polimer filtrelerden geçirilerek bir pompa yardımıyla karıştırıcı bölgeye iletilir. Burada yüksek basınç ve sıcak hava etkisiyle metal uçtan çıkan filamentler inceltir ve hareketli bant üzerine dökülür. Bant üzerinde silindirlerden geçirilerek lif üretilir. Bu yöntem dokuma olmayan kumaşların üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır [56].

Çiftbileşenli nanolif üretimi, iki farklı polimerin aynı metal uçtan akıtılması ile gerçekleştirilir. İç kısımdaki polimer fibrilli bir şekilde dış polimerin içine yerleştirilir. Filament üretildikten sonra klasik yöntemlerle kumaş veya iplikler oluşturulur. Bu yöntemle üretilen lifler yapay kürk, sentetik damar ve filtrasyon malzemeleri gibi bir çok üretimde kullanılmaktadır [57].

Elektrodöndürme yöntemiyle nanolif üretimi, polimerler, kompozitler ve seramikler gibi çok çeşitli materyallerden ultra ince lifler oluşturmak suretiyle gerçekleştirilir. Uygun bir çözücü içinde çözdürülen polimerin topraklanmış bir yüzey üzerinde sürekli lif formunda konumlanması esasına dayanmaktadır. Bu yöntemle, çapları 3nm'den 1 mikron ve üzerine kadar değişen kalınlıklarda nanoliflerin üretimi sağlanabilmektedir [53].

2.4 Elektrodöndürme Yöntemi

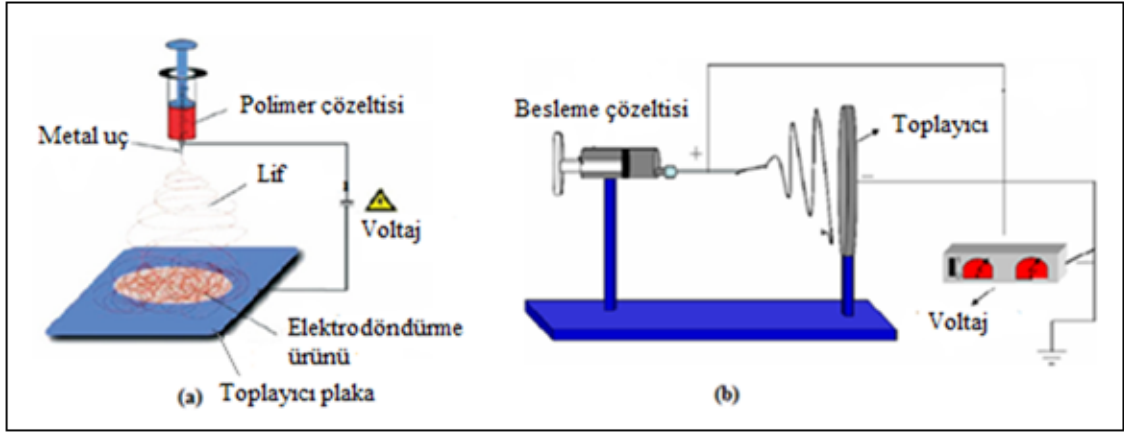
Elektrodöndürme yöntemi ilk defa 1897 yılında Lord Rayleigh tarafından tanımlanmıştır. Rayleigh, polimer damlasının elektrodöndürme sırasında gösterdiği düzensiz davranışları incelemiştir. İlk patent ise 1902 yılında Amerika'da John F. Cooley tarafından alınmıştır. 1914 yılında ise Zeleny tarafından çok daha detaylı çalışmalar yapılmıştır [58]. Bu yöntemle ilgili asıl önemli gelişme, Anton Formhals tarafından 1934 yılında polimerlerden nanolif ile ilgili patentin alınmasıdır. Bu çalışmada selüloz asetattan tekstil lifleri üzerine nanolif üretimi gerçekleştirilmiştir [33]. 1960'lı yıllarda Sir Geoffrey Taylor, belli bir elektrik alan içinde hareketli halde bulunan polimer jetinin teorik prensiplerini açıklamıştır. Buna göre, eletriysel alanın polimerin yüzey gerilimine eşit olduğu noktada koni şeklinin oluştuğunu tespit etmiştir (Şekil 2.5). 1966 yılında polikarbonat ve poliüretandan dokusuz kumaş üretilmiştir [58].



Şekil 2.5 Taylor konisi ve jet oluşumu [49]

1990'lı yıllara gelene kadar, elektrodöndürme yöntemi kullanılarak nanolif üretimi ile ilgili çalışmalar ilerlememiştir. 1990'lı yılların ortalarına doğru bu yöntemle küçük çaplarda lifler üretilmiştir ve artık bundan sonra bu yöntemle ilgili çalışmalar ivme kazanmıştır [59].

Şekil 2.6'da elektrodöndürme yönteminin şematik gösterimi belirtilmektedir. Uygun bir çözücü ile hazırlanan polimer çözeltisi, bu çözelti ile temas halinde bulunan elektrot, yüksek gerilim sağlayan düz akım güç kaynağı ve topraklanmış bir toplayıcı plaka elektrodöndürme işleminin temel bileşenleridir [58]. Bu yöntemde polimer çözeltisi uygun bir şırınganın içine alınır ve bir pompa yardımıyla çözeltinin şırıngadan akması sağlanır. Bu esnada toplayıcı plaka ile şırınganın ucu arasında yüksek gerilim potansiyeli uygulanır. Metal şırınga ucundaki polimer çözeltisi belli bir voltaj değerine kadar küresel damlacık şeklindedir. Kritik voltaj değerine ulaşıldığında polimer çözeltisinin yüzey gerilimi ile elektrostatik kuvvetler eşitlenir ve polimer damlası koni (Taylor konisi) şeklini alır. Bu noktadan sonra voltajdaki en ufak bir artışla şırınganın metal ucundan toplayıcı plakaya doğru sürekli lifler oluşur. Polimer çözeltisindeki çözücü ise bu esnada hızla buharlaşarak uzaklaşır [60], [61].



Şekil 2.6 Elektrodöndürme yönteminin şematik gösterimi: dikey düzlem (a), yatay düzlem (b) [49], [62], [63]

2.4.1 Elektrodöndürme Yönteminde Etkili Olan Parametreler

Herhangi bir polimerden elektrodöndürme yöntemi ile lif üretmek için optimum çözelti özellikleri (polimer konsantrasyonu ve molekül ağırlığı, viskozite, elektriksel iletkenlik, yüzey gerilimi), işlem koşulları (voltaj, tabaka arası mesafe ve akış debisi) ve diğer uygun çevresel özelliklerin sağlanması gerekmektedir [64].

2.4.1.1 Viskozite

Bir akışkanın akmaya karşı gösterdiği direnç viskozite olarak ifade edilmektedir. Polimer çözeltisinin viskozitesi, elektrodöndürme işlemi sırasında oluşan lifin morfolojisini ve çapını etkiler. Çok düşük viskoziteli polimer çözeltilerinden sabit bir lif üretimi gerçekleşemediğinden, çok yüksek viskoziteli çözeltilerde ise çözelti besleme zorluğu olduğundan dolayı, elektrodöndürme işleminde polimerin yapısına göre optimum viskozite sağlanmalıdır [33]. Polimerin konsantrasyonu, moleküler ağırlığı ve viskozitesi birbirleriyle ilişkilidir. Polimer çözeltisinin konsantrasyonunda veya viskozitesinde artış olduğu takdirde, daha büyük çaplı lif oluşumu gerçekleşmektedir [62], [65].

2.4.1.2 Konsantrasyon

Polimer çözeltisinin konsantrasyonu, elektrodöndürme işlemi ile oluşan lifin stabilitesi açısından önemlidir. Çünkü yüzey gerilimi ve iletkenlik gibi diğer çözelti özelliklerini de etkilemektedir [66]. Stabil bir lif oluşumu için optimum çözelti konsantrasyonu sağlanmalıdır. Yüksek konsantrasyonlu polimer çözeltisi kullanıldığında elektriksel

kuvvetler yüzey gerilimi ve viskoziteyi yenemez ve bu nedenle polimer akışı sağlanamaz. Konsantrasyon çok düşük olduğunda ise, polimer lif haline gelemeyen toplayıcı plakaya damlacıklar halinde düşer [62], [63], [65], [67].

Çözelti konsantrasyonu kadar kullanılan çözücü de önemlidir. Çünkü çözücünün özellikleri yüzey gerilimi ve buharlaşma koşullarını belirler. Uçucu özellikteki çözücüler oluşan lifin yapısı ve morfolojisi üzerinde etkilidir [66].

2.4.1.3 Moleküler Ağırlık

Elektrodöndürme işleminde kullanılan polimerin moleküler ağırlığı iletkenlik, dielektrik sabiti, yüzey gerilimi ve viskozite gibi elektriksel ve reolojik özellikler üzerinde oldukça büyük etkiye sahiptir [33], [49], [61]. Yüksek molekül ağırlıklı polimerler lif üretimi için genellikle uygun viskoziteyi sağladıklarından dolayı daha çok tercih edilirler. Düşük molekül ağırlıklı polimerler ise daha çok damlacıklı yapı veya partikül oluşturma eğilimindedirler. Yüksek molekül ağırlığı, polimer zincirinin karmaşıklığını gösterir ve viskozite ile ilişkilidir. Bu durum elektrodöndürme işleminde büyük rol oynamaktadır [33], [49], [63], [65], [68].

2.4.1.4 Yüzey Gerilimi

Bir sıvının yüzey katmanının esnek bir tabakaya benzer özellikler göstermesiyle ortaya çıkan etki yüzey gerilimi olarak ifade edilir [69]. Yüzey gerilimi elektrodöndürme işleminde önemli bir role sahiptir. Polimer çözeltisinin yüzey gerilimi arttıkça nanolif oluşumu için uygulanması gereken gerilim de artar [58], [61]. Polimer çözeltisinin yüzey gerilimi genellikle polimer konsantrasyonu artışıyla azalır. Bununla birlikte surfaktanların eklenmesi de yüzey gerilimini düşürerek işlem kolaylığı sağlamaktadır. Yüzey geriliminin yüksek olması jet düzensizliği ve damlacık oluşumuna neden olur ve elektrodöndürme işlemini durdurur. Yüzey gerilimi düşük olduğunda ise daha ince ve damlacıksız lif oluşumu gözlenir. Ancak bu durum düşük yüzey gerilimine sahip her polimerin elektrodöndürülebilir olduğu anlamına gelmemektedir [58], [61], [70].

2.4.1.5 Elektriksel İletkenlik

Bir maddenin elektriği iletme yeteneğinin sayısal ifadesi elektriksel iletkenlik olarak adlandırılır. Çözelti iletkenlik değeri Siemens (S) birimi ile ifade edilir ve 1 Siemens = 1 Amper/Volt değerindedir. Elektrodöndürme işleminde, elektrotlardan besleme çözeltisine elektrik yükü iletimi olur ve bu elektrik iletkenliği nanolif oluşumu açısından önemlidir. Elektriksel iletkenliğe sahip olmayan polimer çözeltileriyle elektrodöndürme işlemi gerçekleşemez. Elektrik iletkenliği; polimerin türü, konsantrasyonu, çözücü tipi ve sıcaklıktan etkilenir [58].

Polimerler uygun bir çözücü içinde çözünürken iyonik bileşenler açığa çıkar ve böylelikle çözeltinin iletkenliği artar. Genellikle polimer konsantrasyonu arttıkça elektriksel iletkenlik de artar, fakat bünyesinde iyonik bileşen bulundurmayan polimerler için bu durum tam tersidir. Bu tür polimer çözeltilerinde elektrik iletkenliğini artırmak için inorganik tuzlar eklenmektedir. Böylelikle daha stabil jet oluşumu sağlanmakta ve oluşan nanolif miktarı da artmaktadır. Çözelti iletkenliğinin belli bir düzeye kadar artışı nanolif oluşumunu olumlu yönde etkilemektedir. Ancak 5 mS/cm değerinden daha yüksek iletkenliğe sahip çözeltilerle nanolif oluşturulamamaktadır [58].

2.4.1.5 Dielektrik Sabiti

Dielektrik sabiti, bir maddenin bünyesinde bulundurabileceği elektriksel yükü ifade eder. Birimi Farad/metre (F/m)'dir. Dielektrik sabiti polimerin ve çözücünün türüne göre değişiklik gösterir. Dielektrik sabitinin yüksek olması, elektriksel yüklerin besleme çözeltisi içinde daha homojen dağılmasını sağlar. Böylelikle daha yüksek verimde nanolif oluşumu gerçekleşir. Başka bir ifadeyle, dielektrik sabiti arttıkça, birim alanda toplanan nanolif miktarı da artar. Dielektrik sabitini değiştirmek için farklı çözücüler kullanılabilir veya katkı maddeleri ilave edilebilir. Ancak bu durumda lif yapısında meydana gelen değişiklik sadece dielektrik sabitinin değişmesine bağlanamaz. Çünkü bu işlemler aynı zamanda iletkenlik, yüzey gerilimi ve polimerin çözelti içindeki dağılımını da etkilemektedir [63], [65], [71].

2.4.1.6 Voltaj

Elektrodöndürme işleminde kullanılan voltaj değeri en önemli parametredir. İşlem esnasında besleme çözeltisinin elektriksel yükü yüklenmesini sağlar ve bu durum nanolif oluşumunu ve oluşan nanolifin çapını etkiler [58], [70], [71]. Genellikle uygulanan voltaj arttıkça daha ince yapıda lifler oluşmaktadır. Ancak bunun tam tersi durumlar da mevcuttur. Yani voltaj değeri arttıkça daha fazla polimer püskürmesinden dolayı büyük çaplı nanolifler oluşabilmektedir [70]. Kesin olan şudur ki, uygulanan voltaj arttıkça lif çapındaki değişkenlik de artmaktadır. Bununla birlikte, yüksek voltaj değerlerinde Taylor konisi dışa dönük değil, içe dönük bir hal alır ve polimer akışı düzensizleştiği için damlacıklı ve düzensiz halde nanolifler oluşmaktadır [58], [67], [70].

2.4.1.7 Şırınga Ucu ve Polimer Çözeltisi Besleme Debisi

Elektrodöndürme işleminde kullanılan şırınganın ucu üretilen nanolifin çapını etkilemektedir. Küçük çaplı nanolifler küçük çaplı şırınga uçları kullanılarak elde edilmektedir. Ancak bu uçlar yüksek viskoziteli polimer çözeltilerin iletilmesinde tıkanıklık gibi bazı problemler oluşturmaktadır. Literatürde yer alan bir çok çalışmaya göre en uygun şırınga ucu çapının 4.5 mm olduğu belirtilmektedir [49], [71].

Besleme debisi, birim zamanda nanolife dönüşen polimer çözeltisi miktarını belirler. Besleme ucundan toplayıcı plakaya doğru hareket eden polimer çözeltisinin miktarı ile besleme debisi eşdeğer olmalıdır. Aksi halde, homojen çapa sahip ve istikrarlı bir lif oluşumu gerçekleşemez. Yüksek debilerde çapı büyük olan damlacıklı nanolifler oluşmakta, düşük debilerde ise Taylor konisi oluşamamaktadır [70].

2.4.1.8 Toplayıcı Plaka ile Besleme Ucu Arasındaki Mesafe

Toplayıcı plaka ile besleme ucu arasındaki mesafe, elektriksel alanın kuvvetini ve çözücünün nanoliflerden ne kadar sürede uzaklaşacağını belirler. Mesafenin artmasıyla birlikte nanoliflerin havada kalma süresi artar ve böylelikle life uygulanan kuvvetin etki süresi de artar. Bu durum çözücünün daha fazla buharlaşmasını ve dolayısıyla liflerin çapının azalmasını sağlar [67], [70].

Mesafe, lif çapının yanı sıra morfolojisini de etkilemektedir. Bu nedenle çözücünün nanolif jetinden mümkün olduğu kadar fazla uzaklaşmasını sağlayacak değerde olmalıdır. Aksi durumda, toplayıcı plakada nanolifler yaş halde toplanır ve eriyik şeklinde nanolif ağları oluşur. Kısa mesafe, aynı zamanda Taylor konisinin kararsız olmasına ve bu sebeple kusurlu morfolojik yapılar oluşmasına yol açar [58].

2.4.1.9 Toplayıcı Plakanın Tipi

Toplayıcı plakanın geometrik şekli ve üretildiği materyal nanolif morfolojisini etkileyen parametrelerdendir. Nanolifler topraklanmış toplayıcı plakaya temas ettiklerinde sahip oldukları elektriksel yük sıfırlanır. Dış kısımda kalan nanoliflerde yük boşalması daha yavaş gerçekleşir. Bu durum oluşan liflerin morfolojisini, özellikle de birim alandaki yoğunluklarını etkilemektedir. Bundan dolayı, toplayıcı plakanın yapıldığı materyalin dielektrik sabiti önemlidir. Laboratuvar tipi cihazlarda kullanılan toplayıcılar genellikle sabit metal plakalardan oluşmaktadır. Bununla birlikte döner silindir, döner plaka, tel çerçeveler, halka şeklinde elektrotlar ve koni şeklinde toplayıcılar da mevcuttur. Toplayıcı plakanın geometrisi nanoliflerin hangi şekilde ve yoğunlukta toplanacağını belirler. Hareketli plakalar daha homojen ve orantılı bir lif ağı oluşumu sağlar [33], [58].

2.4.1.10 Çevresel Faktörler

Elektrodöndürme işlemini etkileyen en önemli çevresel faktörler sıcaklık ve nemdir. Bu konuyla ilgili literatürde çeşitli çalışmalar mevcuttur. Daha önce gerçekleştirilen bir çalışmada, sıcaklık arttıkça daha küçük çaplı nanoliflerin oluştuğu belirlenmiştir ve lif çapındaki bu azalma, sıcaklık artışına bağlı olarak polimer viskozitesinin azalması ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca, sıcaklık artışı çözücünün polimerden uzaklaşmasını da kolaylaştırabilir [70].

Yapılan bir çalışmada; ortamın nem değerinin lif çekim performansını, lif çapını ve yüzey özelliklerini önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Lif oluşma performansı, çap düzgünlüğü ve yüzey morfolojisi açısından en uygun nem değeri % 27 olarak tespit edilmiştir [72].

2.4.2 Elektrodöndürme Yönteminde Kullanılan Polimerler

Elektrodöndürme yönteminde kullanılan sentetik ve doğal yapıda birçok polimer vardır. Sentetik polimerler genellikle ucuz olması, kolay erişilebilmesi ve farklı fonksiyonel özellikler gösterebilmesi nedeniyle tercih edilmektedir. Polikaprolakton (PCL), poliglikolik asit (PGA), poli-D,laktik asit (PLA), polietilen oksit (PEO) ve polivinil asetat yaygın şekilde kullanılan sentetik polimerlerdir [54], [62], [73], [74]. Diğer yandan elektrodöndürme yönteminde doğal polimerlerin kullanılması da her geçen gün artmaktadır. Doğal polimerler biyobozunur, hidrofilik, yenilebilir özellik göstermesi ve toksik olmaması nedeniyle oldukça dikkat çekicidir [54], [62]. Ancak, dallanmış zincir yapısı göstermeleri nedeniyle doğal polimerlerden nanolif üretmek çok da kolay bir işlem değildir [68]. Bu dallanmış yapılar ya hidrolizle açılmalıdır ya da nanolif oluşturabilen başka bir polimerle karıştırılarak kullanılmalıdır . Besleme çözeltileri tamamen homojen olmalıdır ve viskozite elektrodöndürme işleminin gerçekleşebileceği aralıkta olmalıdır [33], [68]. Sentetik polimerlerden elde edilen nanolifler genellikle elektronik ve medikal uygulamalarda kullanılmaktadır. Doğal polimerler ise gıda ambalajları üretiminde, sentetik gıda matriksleri oluşturulmasında ve bakteri kültür ortamlarının zenginleştirilmesinde kullanılmaktadır [63]. Elektrodöndürme işleminde kullanılan doğal polimerlere kitosan, aljinat, dekstran, selüloz ve türevleri, jelatin, kazein, zein ve serum albümin örnek verilebilir [62].

2.4.2.1 Selüloz

Selüloz, doğada en çok bulunan ve bitkilerin hücre duvarlarından elde edilen doğal bir polisakkarittir. Oldukça ucuzdur ve termal ve mekaniksel özellikleri iyidir. Bu nedenle elektrodöndürme işleminde çoğunlukla tercih edilir. Ancak, kristal yapı ve hidrojen bağları nedeniyle sulu çözeltilerdeki çözünürlüğü çok düşüktür. Bu nedenle doğru çözücünün seçilmesi son derece önemlidir [54], [62].

2.4.2.2 Kitosan

Bazı bitki ve hayvanlarda bulunan kitinin kısmi deasetilasyonu sonucu ortaya çıkan kitosan, doğada en çok bulunan ikinci doğal polisakkarittir [54], [75]. Sert kristal yapısı ve hidrojen bağları nedeniyle suda çözünmez fakat organik çözücülerde çözünür.

Kitosanın yapı taşı (1→4)-2-amino-2-deoksi-β-D-glukan ve (1→4)-2-asetamido-2-deoksi-β-D-glukan birimleridir. Gıda endüstrisinde antimikrobiyal özelliğinden yararlanılır ve şelat ajanı olarak kullanılır. Proteinlerle benzer özellikler sergiler ve mekanik dayanıklılıkları yüksektir. Gıda, biyomedikal, kozmetik, kimya ve ilaç sektörü başta olmak üzere pek çok alanda kullanılmaktadır [54]. Kitosan biyobozunur özelliktedir ve toksik değildir. Antimikrobiyal etkisinden dolayı yenilebilir filmlerin üretiminde de sıklıkla kullanılmaktadır [76].

2.4.2.3 Aljinat

Elektrodöndürme yönteminde sıklıkla kullanılan doğal polimerlerden bir diğeri de sodyum aljinattır. Aljinat, su yosunlarının alkali ile muamele edilmesi sonucu elde edilir. Lineer polimer zinciri (1→4) α-L-guluronik asit ve (1→4) β-D-mannuronik asit birimlerinden oluşur. Çok düşük konsantrasyonlarda bile jel oluşturabilen aljinat, suda çözünen bir doğal polimerdir. Elektrodöndürme ile aljinatlardan nanolif üretebilmek için PEO, kitosan gibi yardımcı polimerler kullanılmaktadır [54], [62], [77].

2.4.2.4 Zein

Zein mısırda bulunan bir depo proteindir ve çok kolay şekilde film haline getirilebilir [78], [79]. Toksik değildir ve biyobozunur yapıdadır. Endosperm proteininin yaklaşık %44-79 kadarını oluşturur. Doğal bir polimer olan zein, bazı alanlarda mikro/nano partikül ve fiber üretiminde, biyoaktif bileşenlerin enkapsülasyonunda ve biyobozunur ambalaj üretiminde kullanılmaktadır [54]. Dimetilformamid, sulu etanol, metanol ve asetik asit gibi farklı çözücülerde çözünebilir [80]. Hidrofobik bir yapı gösterdiği için tatlılarda ve kurutulmuş meyvelerde kullanılır. Yağ, oksijen ve nem geçişine karşı direnç göstermesi nedeniyle kaplama materyali olarak kullanılır [81].

2.4.2.5 Kazein

Kazein 19-25 kDa moleküler ağırlığında bir süt proteindir. Kazein misellerinin polar kısmını oluşturan aminoasitlerin yaklaşık %55 kadarını içerir. İçerdiği hidrojen bağları nedeniyle kazein elektrodöndürme işlemi için uygun değildir. Ancak, nanolif

oluşturabilen polivinilalkol, polietilenoksit gibi başka bir polimerle karıştırıldığı zaman elektrodöndürme işlemi uygulanabilir [54].

2.4.2.6 Jelatin

Jelatin, hayvanların deri, kemik ve tendonlarında yer alan kollajenin kısmi hidrolizi ile edilen bir proteindir. Kollajenin asitle muamele edilmesi sonucu tip A jelatin, alkali ile muamele edilmesi sonucu ise tip B jelatin elde edilir [62], [63]. Suda çözünmeyen kollajen hidrolizle daha küçük parçalara ayrılır ve böylelikle suda çözünür hale getirilerek jelleşme kabiliyeti yüksek jelatin elde edilmesi sağlanır [82]. Jelatinin protein içeriği %85-92 arasındadır. Geriye kalan kısım ise mineraller ve kurutma işlemi sonrası kalan sudan oluşur. Jelatin, multifonksiyonel bir hidrokolloiddir [62]. Ticari açıdan ucuz olan jelatin biyoyumlu, biyobozunur olması ve farklı formlarda bulunması nedeniyle tıp, eczacılık, gıda, kozmetik gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Gıda sektöründe köpürtücü, kremleştirici ve serum ayrılmasını engelleyici ajan olarak ve emülsiyon stabilizatörü ve jelleştirici olarak kullanılır [54], [83]. Jelatin elektrodöndürme işleminde de sıklıkla kullanılan bir polimerdir. Asetik asit, formik asit ve TFA gibi farklı çözücülerle hazırlanan jelatin besleme çözeltisinden başarılı şekilde nanolif üretimi gerçekleştirilmiştir [84].

2.4.2.7 Maltodekstrin

Maltodekstrin düşük moleküler ağırlığa sahip karbonhidrat bazlı bir polimerdir. Maltodekstrinin sulu çözeltisi ile tek başına elektrodöndürme işlemi gerçekleştirilemez. Çünkü yüzey gerilimi yüksek ve moleküler ağırlığı oldukça düşüktür. Bu nedenle bazı surfaktanlar veya yardımcı polimerler ilave edilerek işlem gerçekleştirilebilir [68], [85].

2.4.2.8 Gliadin

Gliadin, buğdayda bulunan gluten proteinin fraksiyonlarından biri olup, önemli depo proteinlerindendir. Düşük molekül ağırlığına sahiptir ve tek zincirli yapı gösterir. Sulu etanol çözeltisinde kolaylıkla çözünebilir [86]. Bu özelliklerinin yanı sıra ucuz olması nedeniyle de nanotaşıyıcı sistemlerde kullanılması açısından oldukça verimli bir proteindir [87].

Gliadin hemen hemen eşit miktarda nötral ve apolar aminoasit içerir. Bununla birlikte yüklü aminoasit miktarı oldukça düşüktür. Gliadin içerdiği nötral ve lipofilik aminoasitler sayesinde mide mukozasında mükemmel bir biyotutunucu davranış sergiler [87]. Bu nedenle biyoaktif maddelerin enkapsülasyonunda kullanımı ilgi çekmektedir. Soares vd. [86] tarafında yapılan çalışmada; % 10 oranında gliadin % 40 TFE ve % 60 oranında saf su karışımı kullanılarak besleme çözeltisi hazırlanmış ve inorganik moleküllerden biri olan polyhedral oligomerik silsesquioxane (POSS) ile gliadin nanoliflerinin ilişkisi incelenmiş ve karakterize edilmiştir. Gliadinin ilaçların kontrollü salınım sistemlerinde taşıyıcı materyal olarak kullanılması da ilgi çeken bir konudur ve bununla ilgili araştırmalar her geçen gün artmaktadır [86], [87].

2.5 Enkapsülasyon

Bir maddenin başka bir madde içine hapsedilmesi enkapsülasyon olarak ifade edilir. Enkapsülasyonda hapsedilen madde çekirdek, dolgu, iç faz veya aktif madde olarak isimlendirilirken, kaplama materyali genellikle zar, kabuki, kapsül, taşıyıcı material, dış faz veya matriks olarak isimlendirilir (Şekil 2.7). Enkapsülasyon, biyoaktif bileşenlerin fiziksel bir bariyer ile tamamen sarılmasını sağlayan koruyucu bir teknolojidir. Gıda bileşenleri ısı, ışık, pH gibi dış faktörlerden korunur. Bununla birlikte işleme ve depolama esnasında kontrollü üründe stabilite ve kontrollü salınım sağlar [80], [88], [89]. Enkapsülasyon işlemi sadece biyoaktif bileşenleri korumakla kalmaz, aynı zamanda istenmeyen tat ve koku bileşenlerini de kamufle eder [4], [90], [91]. Yağ, aroma maddesi, vitamin, mineral, enzim gibi pek çok gıda bileşeni, enkapsülasyon işlemi ile daha fonksiyonel hale getirilir. Enkapsüle materyalin boyutu, enkapsülasyon yöntemine ve kullanılan materyallere göre nanometre boyutundan milimetre boyutuna kadar farklılık gösterir [49].



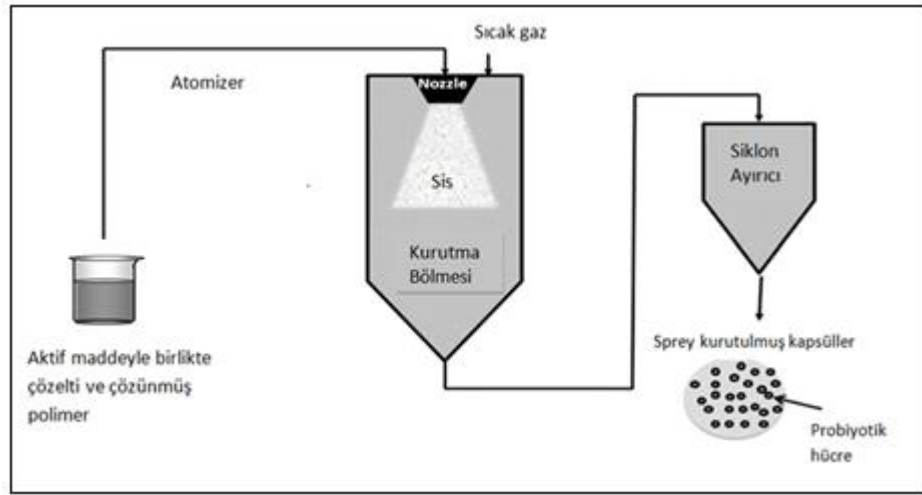
Şekil 2.7 Enkapsüle materyal

2.5.1 Enkapsülasyon Yöntemleri

Farklı amaç ve kullanım alanları için pek çok enkapsülasyon yöntemi bulunmaktadır. Uygun yöntem, amaçlanan fonksiyonel özelliği kazandırılması amacıyla kapsül oluşumunda kullanılacak materyalin ve membranın özellikleri göz önüne alınarak seçilmelidir. Enkapsülasyon işleminde kapsüllerin oluşturulması için çeşitli teknikler kullanılmaktadır [10], [11], [9].

2.5.1.1 Püskürterek Kurutma Yöntemi

Püskürterek kurutma yöntemi, su aktivitesini azaltarak ürünlerin mikrobiyolojik stabilitelerini sağlayan, kimyasal veya mikrobiyolojik bozulmalarını önleyen, depolama ve taşıma maliyetlerini azaltan, ürünlerin kendine özgü özelliklerini koruyan ve gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir [92], [93], [94]. Bu yöntemde, çözeltiye basınç uygulanır ve sonra kurutma bölgesinde bir “sis” oluşturacak şekilde atomize edilir. Sıcak gaz (hava ya da azot) kurutma bölgesine üflenir, böylelikle çözücünün buharlaşması sağlanır. Kapsüller daha sonra geri kazanım için bir siklon ayırıcıya taşınır [11]. Şekil 2.8’de probiyotik bakterilerin püskürterek kurutma yöntemi ile enkapsülasyonu gösterilmektedir.



Şekil 2.8 Probiyotik bakterilerin püskürterek kurutma yöntemi ile enkapsülasyonu [11]

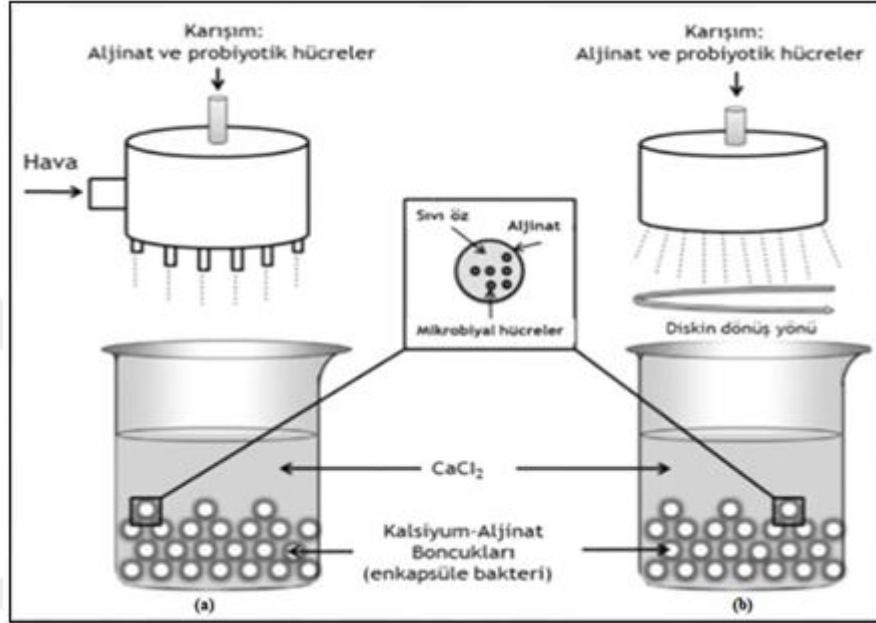
2.5.1.2 Püskürterek Dondurma Yöntemi

Bu yöntemde; çekirdek materyali ile çözelti hazırlanması, kaplama materyalinin taşınması ve kaplama materyalinin katılaştırılması olmak üzere üç temel aşama vardır. Mumlar, yağ asitleri, suda çözünen ve çözünemeyen polimerler ve monomerler kaplama materyali olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemle elde edilen kapsüller, püskürterek kurutma yöntemi ile elde edilen kapsüllere kıyasla daha geniş yüzey alanına sahiptirler. Kapsülleri çevre şartlarına daha dayanıklı hale getirmek için ek bir kaplama da yapılabilmektedir [94], [95], [96]. Yüksek enerji kullanımı gerektirmesi maliyeti artırdığı için dezavantaj oluşturmaktadır. Aroma kaybının çok düşük olması, elde edilen ürünün rekonstitüsyon özelliklerinin iyi olması ve çözünen bileşenlerin gıda içindeki hareketi nedeniyle kayıpların çok az olması bu yöntemin avantajlarıdır [11], [97].

2.5.1.3 Ekstrüzyon Yöntemi

Düşük sıcaklıklarda uygulama imkanı sunan bu yöntem, ısı stabilitesi düşük olan uçucu aroma maddelerin enkapsülasyonunda tercih edilmektedir [95]. Bu yöntemin en büyük avantajı, oksidasyona meyilli olan lezzet bileşenlerinin raf ömrünün uzamasını sağlamasıdır. Atmosfer gazlarının camsı haldeki karbonhidrat matrikslerinin içine doğru yavaşça difüze olması ve oksijene karşı bariyer oluşturması prensibine dayanır [98]. Kaplama materyali olarak genellikle aljinat ve karragenan gibi hidrokolloidler kullanılır.

Temel prensip, çekirdek materyalini içeren çözeltinin yüksek basınçla küçük açıklıklardan geçirilmesidir. Ucuz, basit ve ürün açısından verimli bir yöntemdir. Dezavantajı ise, yavaş gerçekleşen bir proses olması nedeniyle büyük ölçekli işlemler için çok uygun olmamasıdır. Şekil 2.9’da gösterildiği gibi ekstrüzyon yöntemi genellikle hava ile çalışan çivileme disk aygıtı (a) ve basit iğne damlacık jeneratörünü (b) içerir [11].



Şekil 2.9 Ekstrüzyon yöntemi: hava ile çalışan çivileme disk aygıtı (a) ve basit iğne damlacık jeneratörünü (b) [11]

2.5.1.4 Emülsifikasyon Yöntemi

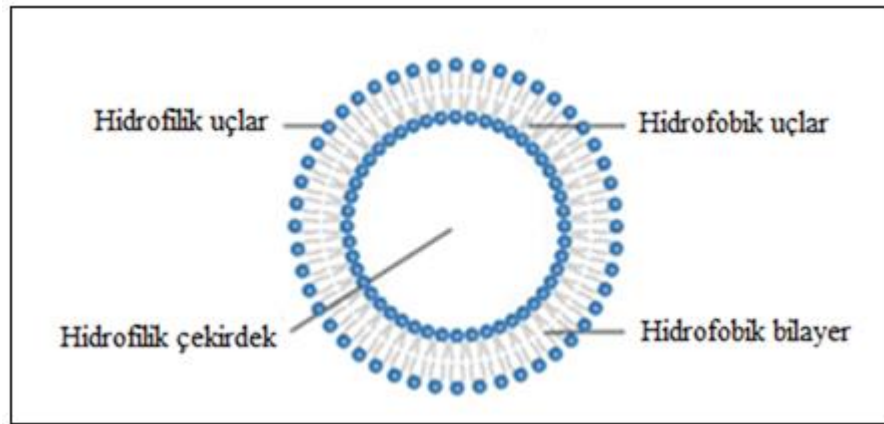
Bu yöntem sürekli ve kesikli faz arasındaki ilişkiyi temel alan bir yöntemdir. Kaplama materyali olarak aljinat, pektin gibi hidrokolloidler kullanılır. Bu yöntemde uygulama kolaydır ve bakteri enkapsülasyonlarında yüksek oranda canlılık sağlanır. Elde edilen kapsüllerin çapı küçüktür ve daha iyi koruma sağlamak için kapsüller ek bir kaplama materyali ile yeniden kaplanabilir [93], [94], [95]. İşlem sırasında polimer süspansiyonundan oluşan kesikli faz, büyük hacimdeki bir sürekli faza eklenir. Genellikle bitkisel yağlar sürekli faz olarak kullanılmaktadır. Karışım, yağ içinde su emülsiyonu oluşturulması amacıyla karıştırılarak homojenize edilir. Suda çözünür olan polimerin sürekli faz içinde küçük jel parçacıkları oluşturması için çözünmez hale getirilir [11].

2.5.1.5 Koeservasyon/Faz ayrımı Yöntemi

Polimer içeren bir çözeltiden, kaplama materyalindeki sıvı fazın uzaklaştırılması ve bu fazın süspanse partiküller etrafında homojen bir tabaka halinde tutulması prensibini esas alan bir yöntemdir [9]. Kaplama materyali olarak suda çözünen polimerler tercih edilmektedir. Bu yöntemde, iç faz ve kaplama materyaline ait yüzey enerjisi, sıcaklık, pH ve bileşimleri gibi bazı karakteristikleri değiştirilir ve böylece kümeleşmeleri sağlanır. İşlem bittikten sonra oluşan kapsüller, filtrasyon ve santrifügasyon gibi ayırma yöntemlerinden biryle ortamdan uzaklaştırılır ve daha sonra standart bir teknikle kurutulur [95].

2.5.1.6 Lipozom

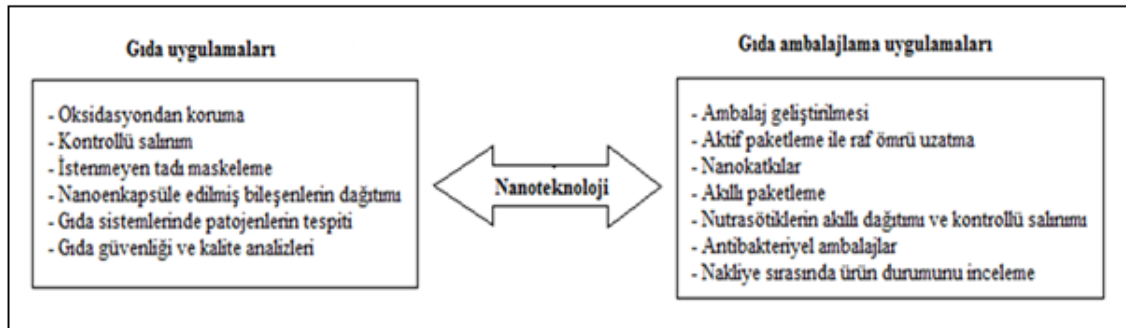
Fosfolipitlerin suda dağıtılmasıyla kendiliğinden oluşan küre şeklindeki kabarcıklar lipozom olarak adlandırılmaktadır [99]. Lipozomlar hem lipit hem de sulu faz içermeleri nedeniyle suda çözünen, yağda çözünen ve amfilik materyallerin kapsüllenmesi ile kontrollü salınım uygulamalarında kullanılır [Şekil 2.10]. En büyük avantajları, enkapsüle edilmiş materyalin uzun süre saklanabilmesi ve salınım miktarının kontrol edilebilmesidir. Lipozom içine enkapsüle edilen biyoaktif maddeler midede sindirimden korunur ve bağırsaklarda aktivite ve biyoyararlılık sağlayacak şekilde gastrointestinal sistemde önemli oranda absorbe edilir [100]. Bir diğer ifadeyle lipozomlar sağlığa olumlu etkileri olan bileşenleri kapsüle ederek gıdaların biyolojik yararlılıklarını ve dolayısıyla besinsel özelliklerini artırır [95], [101].



Şekil 2.10 Lipozomun yapısı

2.5.1.7 Elektrodöndürme Yöntemi

Elektrodöndürme yönteminin en büyük avantajlarından birisi elde edilen ürünün çok farklı morfolojik özellikler gösterebilmesidir. Bu yöntemle elde edilen yapıların morfolojileri işlem parametrelerinin farklı şekilde düzenlenmeleri ile kontrol edilebilmektedir. Elektrodöndürme işlemi ile elde edilen nanoliflerin çok geniş yüzey-hacim oranlarından dolayı fonksiyonel ve / veya yenilenebilir polimerlerin kullanımı ya da biyoaktif maddelerin kapsüllenmesi gibi benzersiz işlevlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Enkapsülasyon, elektrodöndürme işleminin önemli uygulamalarından biridir. Bu yöntemle gerçekleştirilen enkapsülasyon işlemi, elektroenkapsülasyon olarak da ifade edilmektedir [74]. Biyoaktif maddelerin polimerler içine enkapsülasyonu için oldukça elverişli bir yöntemdir. Özellikle gıda ve kozmetik endüstrisinde, ısıya duyarlı olan biyoaktif bileşenler bu yöntemle enkapsüle edilebilmektedir. Bunun yanında, bu yöntemle ilgili olarak gıda endüstrisinde pek çok araştırma mevcuttur. Özellikle antioksidan maddeler, probiyotik bakteriler ve biyoaktif bişenlerin enkapsüle edilmesinde kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır [103]. Şekil 2.11’de kullanım alanları gösterilmektedir.



Şekil 2.11 Gıda ve gıda ambalajlama endüstrisinde nanoteknoloji uygulamaları [102]

2.6 Elektrodöndürme Yöntemi ile Üretilen Nanoliflerin Karakterizasyonu

Elektrodöndürme yöntemi ile üretilen nanoliflerin karakterizasyonu için farklı teknikler mevcuttur. Fiziksel karakterizasyon, üretilen materyalin yapısı ve morfolojisi ile ilişkilidir. Morfolojik özellikler için taramalı elektron mikroskobu (SEM), alan emisyon taramalı elektron mikroskobu (FE-SEM), transmisyon elektron mikroskobu, atomik kuvvet mikroskobu (AFM) kullanılmaktadır. Kimyasal karakterizasyon için Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), nükleer manyetik rezonans (NMR), dairesel

dikroizm (CD), diferansiyel tarama kalorimetrisi (DSC), X-ışını kırınımı ve X-ışını saçılması kullanılmaktadır. Farklı koşullardaki stabilitelerini tespit etmek için zeta potansiyel analizleri kullanılmaktadır. Özet olarak, bütün bu analizler ile, elektrodöndürme yöntemi ile elde edilen nanoliflerin gıda sistemleri için uygunlukları belirlenebilmektedir [2], [54], [63], [65], [104], [105].



BÖLÜM 3

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Bu çalışmada gliadin proteini (Tokyo Chemical Industry Company Ltd., Tokyo, Japonya), kurkumin ($C_{21}H_{20}O_6$, M.A: 368.38, Sigma-Aldrich, Çin), fosfat tampon çözelti tableti (pH: 7.4; 25 °C, Sigma-Aldrich, Çin), diyaliz membran (Moleküler geçirgenlik: 14 kDa), etanol (Düzey LAB Ltd., Türkiye), Nutrient Broth (Merck, Almanya), 2,2 - diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ve Folin-Ciocalteu (FC) reaktifi (Aldrich) kullanılmıştır.

3.2 Yöntemler

3.2.1 Besleme Çözeltilerinin Hazırlanması

Besleme çözeltilerini hazırlamak için sulu solvent sistemi kullanılmıştır. Ağırlıkça %22.5 gliadin proteini %70'lik etanol çözeltisinde çözündürülmüştür. Kurkumin yüklü gliadin çözeltilerini hazırlamak için ise, çözelti içindeki toz gliadin proteinin ağırlığı baz alınarak %2, %5 ve %10 oranlarında kurkumin kullanılmıştır. Tamamen homojen bir besleme çözeltisi elde etmek için hazırlanan bütün çözeltiler 24 saat boyunca sabit hızda karıştırılmıştır. Besleme çözeltileri 10 ml'lik plastik enjektörlere doldurulmuş ve elektrodöndürme işlemini gerçekleştirmek üzere şırınga pompasına yerleştirilmiştir.

3.2.2 Besleme Çözeltilerinin Reolojik Karakterizasyonu

Nanolif üretilmek üzere hazırlanan çözeltilerin yatışkan faz reolojik özellikleri basınç veya deformasyon kontrollü reometre (Anton Paar MCR302, Australia) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizde kullanılan cihazın sıcaklık kontrolü su banyosu destekli

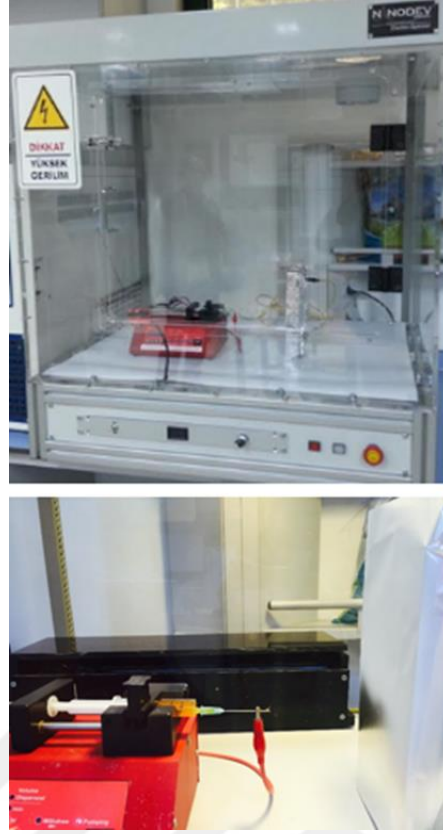
petlier sistem ile gerçekleştirilmektedir. Analizde paralel tabaka kullanılmıştır. Kullanılan prob 25 mm çapındadır. Analiz 25 °C'de 0.1 ile 100 s⁻¹ kesme hızı aralığında gerçekleştirilmiştir. Analizde kesme hızına karşılık görünür viskozite değerleri elde edilmiş ve toplamda 20 adet veri elde edilmiştir. Elde edilen keme hızına karşılık görünür viskozite değerleri, Newtonian modele uyarlanmıştır (Denklem 3.1).

$$\sigma = \eta \dot{\gamma} \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte σ kesme basıncını (Pa), $\dot{\gamma}$ kesme hızını (1/s) ve η ise viskozite değerini simgelemektedir.

3.2.3 Elektrodöndürme İşlemi

Kurkumin yüklü olan ve olmayan gliadin nanoliflerini üretmek için besleme çözeltileri elektro döndürme işlemine maruz bırakılmıştır. Bu amaçla Şekil 3.1'de gösterilen elektrodöndürme cihazı (Nanodev Scientific, Ankara, Türkiye) kullanılmıştır. Elektrodöndürme işleminde kullanılan diğer aparatlar ise şunlardır: yüksek voltaj kaynağı (Spellman, CZE 1000R, High Voltage Electronics Corporation, Hauppauge, NY), şırınga pompası (New Era Pump Systems Inc., NE-300, Hauppauge, NY) ve paslanmaz çelik uçlu 10 ml'lik enjektör.



Şekil 3.1 Elektrodöndürme cihazı (Nanodev, Türkiye)

Nanolif üretimi için besleme çözeltisi 10 ml'lik enjektör içine alınmış ve enjektör şırınga pompasına yerleştirilmiştir. Toplayıcı plaka ile enjektörün ucu arasındaki mesafe 10 cm, çözelti besleme hızı 0.5 mL/sa ve voltaj değeri ise 15 kV olarak ayarlanmıştır.

Bütün elektrodöndürme işlemleri oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir ve üretilen nanolifler +4 °C'de saklanmıştır.

3.2.4 Renk Analizi

Nanoliflerin renk ölçümleri otomatik kolorimetre cihazı (Lovibond RT Series Reflectance Tintometer, U.K) ile gerçekleştirilmiştir. Renk değerleri L, C* ve h⁰ olarak belirlenmiştir. L değeri beyazlık-siyahlık göstergesi olup 0 (siyah) ile 100 (beyaz) değerleri arasında, h⁰ (hue açısı) 0°= kırmızı-mor, 90°= sarı, 180°= mavimsi-yeşil, 270°= mavi değerleri arasında değerlendirilmektedir ve C* (kroma) renkte doygunluğu ifade etmektedir.

3.2.5 Floresans Emisyon Özelliği

Nanoliflerin floresans emisyon özelliği ultraviyole (UV) ışığı altında incelenmiştir. Bu amaçla, elektrodöndürme işlemi ile alüminyum folyo üzerinde toplanan nanolifler dikdörtgen şeklinde kesilmiş ve UV ışığı kabinine yerleştirilerek 365 nm’de liflerin görüntüleri alınmıştır.

3.2.6 ATR-FTIR Spektroskopisi ile Moleküler Karakterizasyon

Saf gliadin, kurkumin ve %2, % 5 ve % 10 oranlarında kurkumin yüklü gliadin nanoliflerinin kimyasal yapıları, ATR-FTIR spektroskopisi kullanılarak karakterize edilmiştir. Spektrumların elde edilmesi için KBr ışın dağıtıcı ve DLaTGS detektörü ile teçhizatlandırılmış Bruker Tensor 27 spektroskopisi kullanılmıştır. Elmas ATR hücresi ile teçhizatlandırılmış ATR aksesuarı kullanılmıştır. Enstrüman kontrolü ve data eldesi OPUS programı (Windows için Versiyon 7.2, Bruker GmbH) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Örneklerin ATR-FTIR spektrası herbir spektrada 16 tarama biriktiren 2 cm^{-1} ’lik çözünürlük ile 4000’den 600 cm^{-1} dalgasayısı aralığında kaydedilmiştir. Arka plan olarak, bütün ölçümler öncesinde aynı şartlarda hava spektrumu incelenmiştir. Kristal yüzey, herbir ölçüm sonrası yumuşak peçete kullanılarak saf etanol ile temizlenmiş ve kağıt peçete ile kurulanmıştır.

3.2.7 Nanoliflerin Termal karakterizasyonu

Saf kurkumin, saf gliadin nanolifi ve kurkumin yüklü gliadin nanoliflerinin termal özellikleri diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC, Q100, TA Instruments Inc., New Castle, DE, USA) kullanılarak tespit edilmiştir.

Analiz nitrojen atmosferi altında, 20 mL/dk sabit akış hızı gerçekleştirilmiştir. Her bir analiz için 5 mg örnek alüminyum pan içine yerleştirilmiş ve hermetikli olarak kapatılmıştır. 20 ° C ile 300 ° C arasında sıcaklık uygulanmış ve sıcaklık artışı 10 ° C/dk olarak ayarlanmıştır. Referans olarak hermetikli kapatılmış boş bir alüminyum pan kullanılmıştır.

3.2.8 Zeta Potansiyel Analizi

Nanoliflerin zeta potansiyel ölçümleri Nano ZSP (Malvern Instruments Corp., Worcestershire, U.K.) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, her bir nanoliften 1 mg tartılarak 10 mL fosfat tampon çözeltisi (PBS) içinde disperse edilmiş ve elektrot bulunduran zeta potansiyel hücrelerine alınmıştır. Bütün ölçümler 25 °C’de gerçekleştirilmiştir.

Nanoliflerin zeta potansiyelleri Denklem 3.2’de verilen Smoulokowski model denklemine göre hesaplanmıştır.

$$\xi = \eta\mu/\varepsilon \quad (3.2)$$

Bu denklemde η viskozite, μ elektroforetik hareketlilik ve ε solventin dielektrik katsayısını ifade etmektedir.

3.2.9 Nanoliflerin Morfolojik Karakterizasyonu

Nanoliflerin morfolojisi taramalı elektron mikroskobu (SEM, FEI, Quanta Feg 250, USA) kullanılarak belirlenmiştir. Nanolifler düşük vakum altında, 8 mm mesafede ve 20 kV voltaj kullanılarak analize tabi tutulmuştur.

3.2.10 Nanoliflerin Yapısal Karakterizasyonu

Nanoliflerin yapısal özellikleri X-ışını Kırınım (XRD) cihazı (Bruker AXS D500 Spectrometer) ile belirlenmiştir. X-ışını difraktogramları 2°-40° difraksiyon açı aralığında kaydedilmiştir.

3.2.11 Enkapsülasyon etkinliği

Nanoliflerin enkapsülasyon etkinliğini belirlemek için, PBS içinde disperse edilen nanolifler 15 000 g’de 15 dk boyunca santrifüj edilmiş ve üst faza geçen kurkuminin 420 nm’de absorpsiyonu ölçülmüştür.

Kurkumin miktarı hesaplanırken farklı konsantrasyonlarda hazırlanan kurkumin standardı ile elde edilen kalibrasyon grafiği baz alınmıştır.

Enkapsüle olan kurkumin miktarı ve % enkapsülasyon etkinliği aşağıdaki belirtilen Denklem 3.3 ve Denklem 3.4 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Kurkumin}_{\text{Enkapsüle}} = \text{Kurkumin}_{\text{Toplam}} - \text{Kurkumin}_{\text{Filtrat}} \quad (3.3)$$

$$\% \text{Enkapsülasyon} = (\text{Kurkumin}_{\text{enkapsüle}} / \text{Kurkumin}_{\text{toplam}}) \times 100 \quad (3.4)$$

3.2.12 *In vitro* Kontrollü Salınım Analizi

Kurkuminin nanoliflerden kontrollü salınımı diyaliz membrane metodu kullanılarak belirlenmiştir. Her bir nanoliften 50 mg alınarak 10 mL deiyonize su içinde disperse edilmiş ve elde edilen dispersiyon diyaliz membranı içine doldurulmuştur. Salınım ortamı olarak 100 mL %50 PBS (pH 7.4 ve NaCl: 0.138 M) ve %50 etanol karışımı kullanılmıştır. Diyaliz membranları salınım ortamı içine tamamen daldırılarak çalkalamalı su banyosunda 37 °C’de 100 rpm karıştırma hızı ile 48 saat bekletilmiştir.

48 saatlik analiz süresince kurkuminin kontrollü salınım miktarını tespit etmek için 3., 6., 12., 24. ve 48. saatlerde her bir nanolif için salınım ortamlarından 1 mL örnek alınarak 420 nm’de spektrofotometre cihazı (Shimadzu, UV-1800, UV-VIS Spectrophotometer) ile absorbans ölçümü yapılmıştır. Salınım ortamına da alınan örnek miktarı kadar taze salınım ortamı çözeltisi eklenmiştir. Kümülatif kurkumin salınımı zamanın bir fonksiyonu olarak grafiklendirilmiş ve sonuçlar kurkumin standart küresel ile ilişkilendirilmiştir.

Kurkuminin % salınım oranı Denklem 3.5 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\% \text{Salınım} = (\text{Kurkumin}_{\text{salınan}} / \text{Kurkumin}_{\text{toplam}}) \times 100 \quad (3.5)$$

3.2.13 Antioksidan Aktivite Analizi

Nanoliflerin antioksidan aktivitesi (%AA) Suwantong vd. [121] tarafından tanımlanan metotta bazı modifikasyonlar yapılarak belirlenmiştir. Buna göre, her bir nanolif örneğinden 10 mg alınarak 4 ml %70 etanol çözeltisi içinde çözündürülmüş ve metanol ile hazırlanan DPPH çözeltisi ile muamele edilerek 37 °C’de 30 dk bekletilmiştir. Daha sonra 517 nm’de absorbans değerleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre % AA Denklem 3.6 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\%AA = ((A_{\text{kontrol}} - A_{\text{örnek}})/A_{\text{kontrol}}) \times 100 \quad (3.6)$$

Burada A_{kontrol} nanolif içermeyen DPPH çözeltisinin absorbans değerini, $A_{\text{örnek}}$ ise nanolif içeren DPPH çözeltisinin absorbans değerini ifade etmektedir.

3.2.14 Antibakteriyel Aktivite Analizi

Antibakteriyel aktivite analizi Lian vd. [32] tarafından tanımlanan metoda göre gerçekleştirilmiştir. Bu metoda göre, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213 ve *Escherichia coli* ATCC 25922 patojen bakterileri nutrient broth içinde aktifleştirilerek 625 nm’de absorbans değerleri 0.1-0.2 aralığında (mikroorganizma sayısı 10^7 - 10^8 kob/ml) olacak şekilde standardize edilmiştir. UV ışığı altında sterilize edilen nanolifler bakteri süspansiyonlarına ilave edilmiş ve bütün solüsyonlar sabit çalkalama hızı ile 37 °C’de 24 saat inkübe edilmiştir. Ardından 625 nm’de absorbansları ölçülmüştür. Elde edilen absorbans değerleri ile Denklem 3.7 kullanılarak bakteri inhibisyon oranı % olarak hesaplanmıştır.

$$\% \text{Inhibisyon} = ((A_{\text{kontrol}} - A_{\text{örnek}})/A_{\text{kontrol}}) \times 100 \quad (3.7)$$

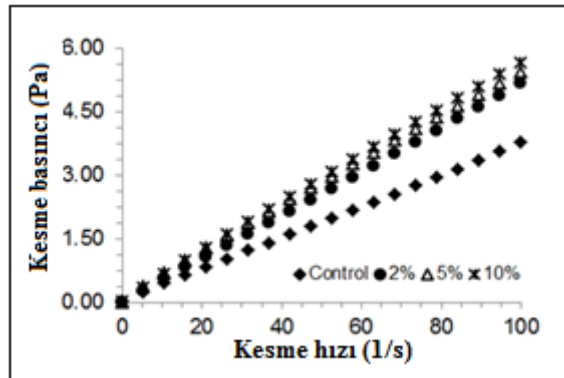
Burada A_{kontrol} nanolif içermeyen bakteri süspansiyonunun absorbans değerini, $A_{\text{örnek}}$ ise nanolif içeren bakteri süspansiyonunun absorbans değerini ifade etmektedir.

3.2.15 İstatistiksel Analizler

Veriler JMP 6 programından yararlanılarak analiz edilmiştir. Değişkenler için aritmetik ortalama ve standart sapmalar bulunmuştur. Değişkenler arasında fark olup olmadığı $p < 0.05$ anlamlılık düzeyinde bağımsız "t" testi ve tek yönlü varyans analizi kullanılarak belirlenmiştir.

ARAŞTIRMA BULGULARI**4.1 Besleme Çözeltilerinin Reolojik Özellikleri**

%2, %5 ve %10 konsantrasyonlarında kurkumin içeren ve kurkumin içermeyen gliadin çözeltilerinin kesme hızına karşılık gelen kayma basınç değerlerinden oluşan akış davranışı, Şekil 4.1’de gösterilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi kesme hızı ile kesme basıncı değerleri arasında sabit bir eğim bulunmaktadır. Bu durum, çözeltilerin viskozitesinin kesme hızı ile değişmediğini göstermektedir. Çözeltilerde farklı oranlarda kurkumin kullanılması gliadin çözeltilerinin akış davranışını etkilememektedir. Benzer sonuçlar, jelatin bazlı nanolif üretimi için kullanılan çözeltilerde de gözlemlenmiştir [83].



Şekil 4.1 Farklı oranlarda kurkumin içeren gliadin çözeltilerinin akış davranışı

Şekildeki veriler kullanılarak her bir çözeltinin viskozite değeri hesaplanmıştır ve modelle ilgili parametreler, Çizelge 4.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.1 Farklı oranlarda kurkumin içeren gliadin çözeltilerinin Newtonian Model Parametreleri*

Örnek	η (Pa.s)	R^2
Gliadin çözeltisi	$0,0374 \pm 0,0019^c$	0,9993
% 2 KYGÇ**	$0,0511 \pm 0,0039^b$	0,9999
% 5 KYGÇ	$0,0554 \pm 0,0013^a$	0,9990
% 10 KYGÇ	$0,0574 \pm 0,0000^a$	0,9994

*Kolondaki farklı harfler istatistiksel olarak ortalamalar arasındaki farkın önemli olduğunu göstermektedir (p <0,05)

**KYGÇ: Kurkumin yüklü gliadin çözeltisi

Çizelgeden de anlaşıldığı gibi elde edilen verilerin modele uyarlanması sonucunda hesaplanan R^2 değerleri 0,9990 ve 0,9999 arasında bulunmuştur. R^2 değerlerinin bu şekilde bire yakın olması deneysel veriler ile oluşturulan model sonucunda tahmin edilen değerlerin birbirine yakınlığını göstermektedir. Başka bir ifadeyle R^2 değerlerinin bir değerine yakın olması farklı oranlarda kurkumin yüklenmiş gliadin çözeltilerinin akış davranışını, Newtonian modelin başarılı bir şekilde tanımladığını göstermektedir. Çözeltilere ait viskozite değerleri incelendiğinde kontrol örneğinin yani kurkumin içermeyen gliadin çözeltisinin viskozite değeri, 0,0374 Pa.s olarak bulunmuştur. Ağırlık bazında % 2, % 5 ve % 10 oranında kurkumin içeren gliadin çözeltilerinin viskozite değerleri ise sırasıyla 0,0511 Pa.s, 0,0554 Pa.s ve 0,0574 Pa.s olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar, çözelti viskozitesinin kurkumin konsantrasyonu arttıkça arttığını göstermektedir. Kurkumin miktarının artması, çözeltideki kuru madde miktarının artmasına neden olduğu için çözeltinin de viskozitesi bu sebeple artış göstermektedir.

Polimer konsantrasyonu ve molekül ağırlığı ile ilişkili olan viskozite lif morfolojisi, elektrodöndürme prosesi sonucunda oluşan liflerin morfolojisi açısından önemli rol oynamaktadır. Düşük viskoziteli çözeltiler damlacıklı liflerin oluşumuna neden olur. Çünkü yüzey gerilimi viskoz kuvvete göre daha baskın olur. Yüksek viskoziteli çözeltilerde ise elektrodöndürme prosesinde enjeksiyonda zorlanma problemleri görülür. Elektrodöndürme yöntemiyle pürüzsüz ve sürekli lif üretebilmek için polimer

çözeltisinin uygun viskozitede olması, proses etkinliği açısından oldukça önemlidir [62], [63], [65], [67].

4.2 Nanoliflerin Renk Özellikleri

Saf gliadin nanolifi ile %2, %5 ve %10 oranlarında kurkumin ile yüklenen gliadin nanoliflerinin (KYGN) ve kurkuminin renk özellikleri otomatik kolorimetre cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Liflere ait L, C* (kroma) ve h⁰ değerleri Çizelge 4.2’de verilmektedir.

Çizelge 4.2 Farklı oranlarda kurkumin içeren gliadin nanoliflerinin renk özellikleri*

Örnekler	Renk özellikleri		
	L	C*	h ⁰
Gliadin nanolifi	94.30 ± 0.33 ^a	6.76 ± 0.16 ^e	320.36 ± 1.36 ^a
% 2 KYGN**	92.08 ± 0.06 ^b	50.23 ± 2.36 ^d	100.6 ± 1.32 ^b
% 5 KYGN	90.85 ± 0.18 ^c	54.61 ± 2.05 ^c	98.61 ± 1.34 ^b
% 10 KYGN	89.75 ± 0.10 ^d	62.38 ± 2.70 ^b	93.74 ± 1.28 ^c
Kurkumin	72.97 ± 1.01 ^e	93.59 ± 2.58 ^a	68.47 ± 0.41 ^d

*kolondaki farklı harfler istatistiksel olarak ortalamalar arasındaki farkın önemli olduğunu göstermektedir (p <0,05)

**KYGN: Kurkumin yüklü gliadin nanolifleri

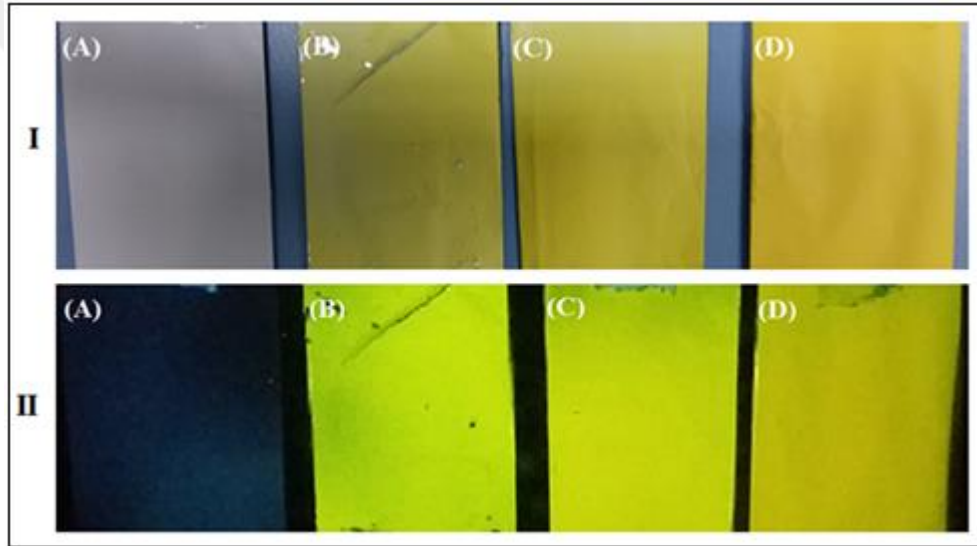
Çizelgede görüldüğü üzere, saf gliadin nanolifine ait L değeri 94.30 ± 0.33 olarak belirlenirken, saf kurkumine ait L değeri 72.97 ± 1.01 olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte, kurkumin yüklü gliadin nanoliflerinde ölçülen L değerleri, lif içindeki kurkumin konsantrasyonunun artışına bağlı olarak azalma göstermiştir. C* değerleri kıyaslandığında kurkumine ait C* değerinin en yüksek, saf gliadin nanolifine ait C* değerinin ise en düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu değerler saf gliadin nanolifinin daha donuk, saf kurkuminin ise daha canlı bir renge sahip olduğunu göstermektedir. Beklenildiği gibi, kurkumin yüklü nanoliflerde lif içindeki kurkumin konsantrasyonu arttıkça C* değeri, dolayısıyla renk doygunluğu, artış göstermiştir. h⁰ değerleri

kıyaslandığında, saf gliadin lifinin kurkumin ile yüklenmesiyle hue açısının azaldığı ve liflerin kurkumin konsantrasyonu artışıyla giderek sarı renk aldığı belirlenmiştir.

Bu renk özellikleri göstermektedir ki, kurkumin gibi doğal bileşenlerin enkapsülasyonu, farklı renk, kroma ve hue açısı değerleri elde etmek için oldukça yararlı bir procestir [106].

4.3 Nanoliflerin Floresans Emisyon Özellikleri

Kurkuminin floresans emisyon özelliğini vurgulayan bir çok çalışma mevcuttur [32]. Saf gliadin nanolifi ve kurkumin yüklü gliadin nanoliflerine ait floresans emisyon görüntüleri Şekil 4.1’de gösterilmektedir.

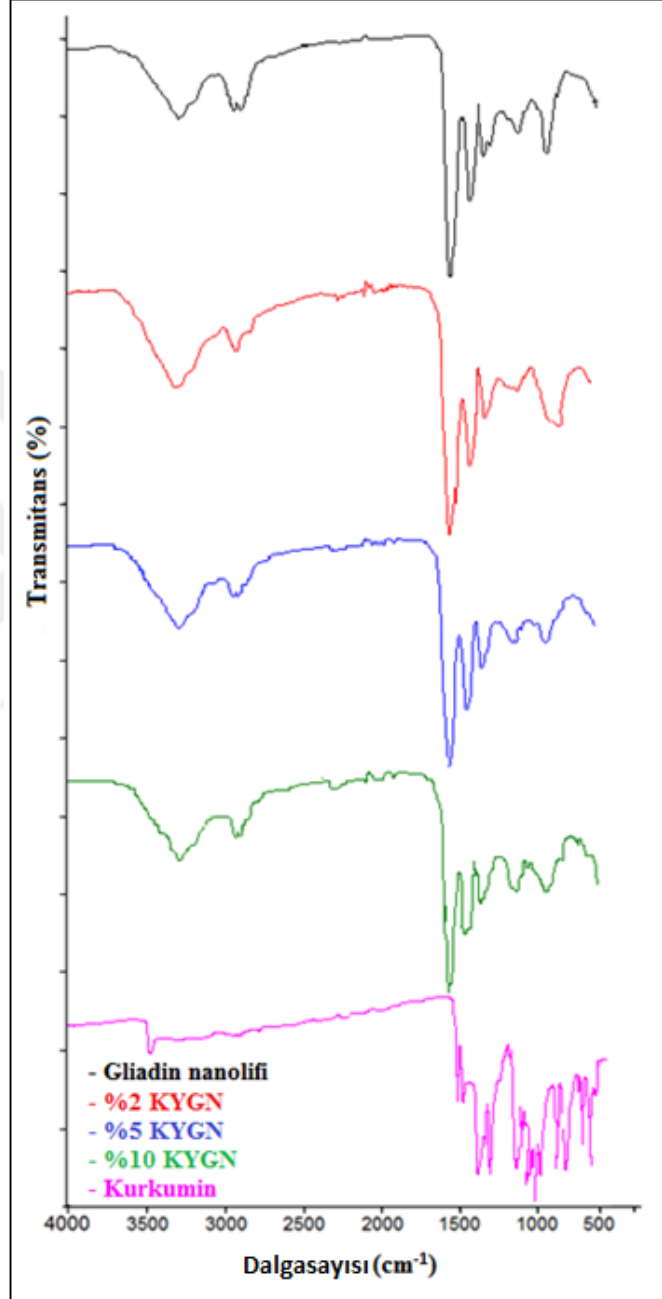


Şekil 4.2 Gliadin nanolifi (A), %2 kurkumin yüklü gliadin nanolifleri (B), %5 kurkumin yüklü gliadin nanolifleri (C) ve %10 kurkumin yüklü gliadin nanoliflerine ait UV illuminasyonu öncesi (I) ve sonrası (II) görüntüleri

Şekilde de görüldüğü gibi, bütün nanolifler ultraviyole (UV) ışığı altında güçlü floresans emisyon özelliği göstermektedir. Saf gliadin nanolifi koyu mavi floresans yayılımı gösterirken, kurkumin yüklü gliadin nanolifleri yeşilimsi sarı emisyon göstermiş ve kurkumin konsantrasyonu artışına bağlı olarak emisyon da artmıştır. Bu şekil göstermektedir ki, kurkumin bütün liflerde homojen bir şekilde dağılmış ve elektrodöndürme işlemi ile enkapsülasyonunda agregasyona uğramamıştır. Aynı zamanda örneklerdeki (fiber mats) nanolifler birbirleriyle kuvvetli şekilde bağ oluşturmuştur [32].

4.4 Nanoliflerin ATR- FTIR Spektroskopisi ile Moleküler Karakterizasyonu

ATR-FTIR Spektroskopi analizi nanoliflerdeki intermoleküler interaksionları ve yapısal değişiklikleri tespit etmek için gerçekleştirilmiştir. Gliadin nanolifi, kurkumin yüklü gliadin nanolifleri ve saf kurkumine ait spektrumlar Şekil 4.2’de gösterilmektedir.



Şekil 4.3 Gliadin nanolifi, kurkumin ve kurkumin yüklü gliadin nanoliflerine (KYGN) ait ATR-FTIR spektrumları

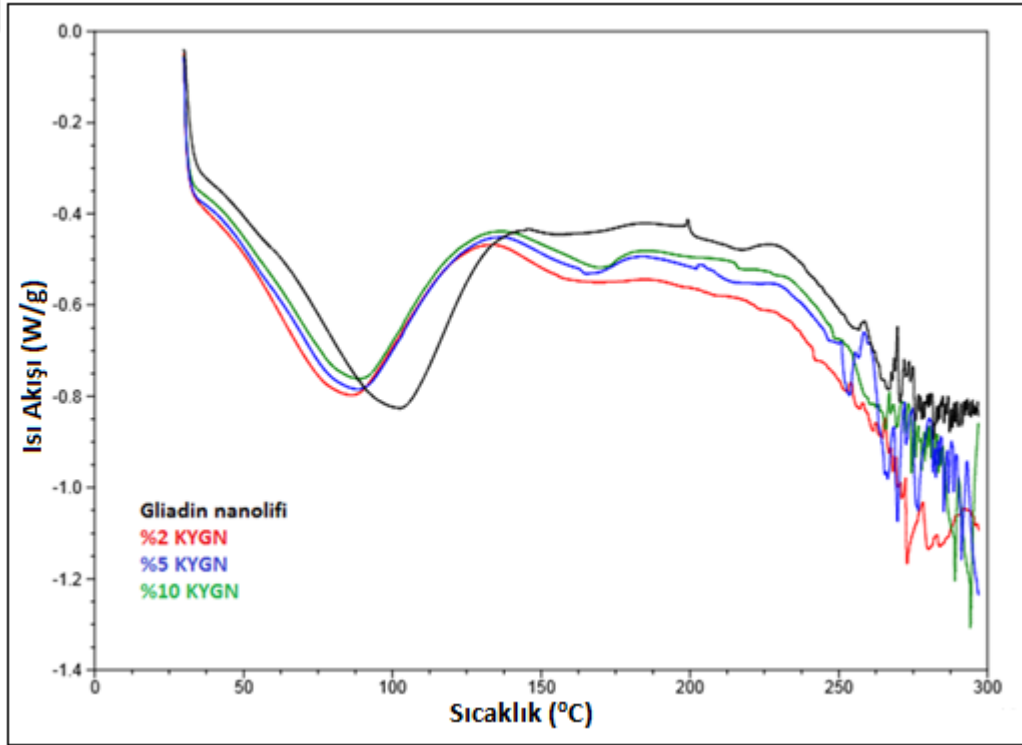
Gliadin nanolifinde hidroksil (-OH) grubu 3291 cm⁻¹’de tespit edilmiştir. Bu değer, Soares vd. [86] tarafından gerçekleştirilen çalışmada bulunan sonuçla oldukça

benzerdir. Gliadin nanolifindeki amid I ve amid II bantları sırasıyla 1649 cm^{-1} ve 1538 cm^{-1} de tespit edilmiştir. Peptit bileşenlerinin farklı titreşimlerini ifade eden amid bantları, protein ve polipeptitlerin infrared spektrumları ile gösterilmektedir. Peptit bileşenlerine ait bütün amid yapılarında, 1600 cm^{-1} ve 1700 cm^{-1} arasında tespit edilen amid I bandı birçok çalışmada proteinlerin sekonder yapısı olarak belirtilmektedir [107]. Proteinlerin yapısındaki düzensizlik ve bunların α ve β konformerleri ile C=O bağlanma titreşimleri amid I bandı ile ilişkili iken, C–N–H grubundaki N–H ve C–N bağlanmalarının açılma deformasyonu amid II bandı ile ilişkilidir [86]. Saf kurkumine ait önemli spektrumlar 3507 , 1626 , 1600 , 1505 , 1427 , 1314 , 1272 , 1233 , 1203 , 1186 , 1151 , 1113 , 1025 , 967 , 884 , 855 and 808 cm^{-1} de tespit edilmiştir. Hidroksil (-OH) grubu 3507 cm^{-1} de gözlenmiştir. Bu değer, daha önce gerçekleştirilen bir çalışmada elde edilen 3508 cm^{-1} değeri ile oldukça benzerdir [1]. 1626 ve 1600 cm^{-1} deki bantlar moleküler zincirler arası karbonil (C=O) grubu ve aromatik halkaların C=C bağları ile ilişkilidir. 1505 ve 1427 cm^{-1} deki pikler çoğunlukla 1350 - 1512 cm^{-1} aralığında gözlemlenen alkan (C-H) bantlarını ifade etmektedir. Keto [$\delta(\text{COH})$] ve aromatik keto [$\nu(\text{C}=\text{O})$ ve $\delta(\text{CCC})$, $\delta(\text{CCH})$] grupları sırasıyla 1273 cm^{-1} ve 1314 cm^{-1} de tespit edilmiştir [108], [109]. 1000 – 1260 cm^{-1} aralığındaki bantlar eter (C-O) grubunu ifade ederken, 962 cm^{-1} dalga boyundaki pik enolik $\nu(\text{C}^{12}\text{O})$ ve $\delta(\text{C}^{12}\text{OH})$ grubunu belirtmektedir [108].

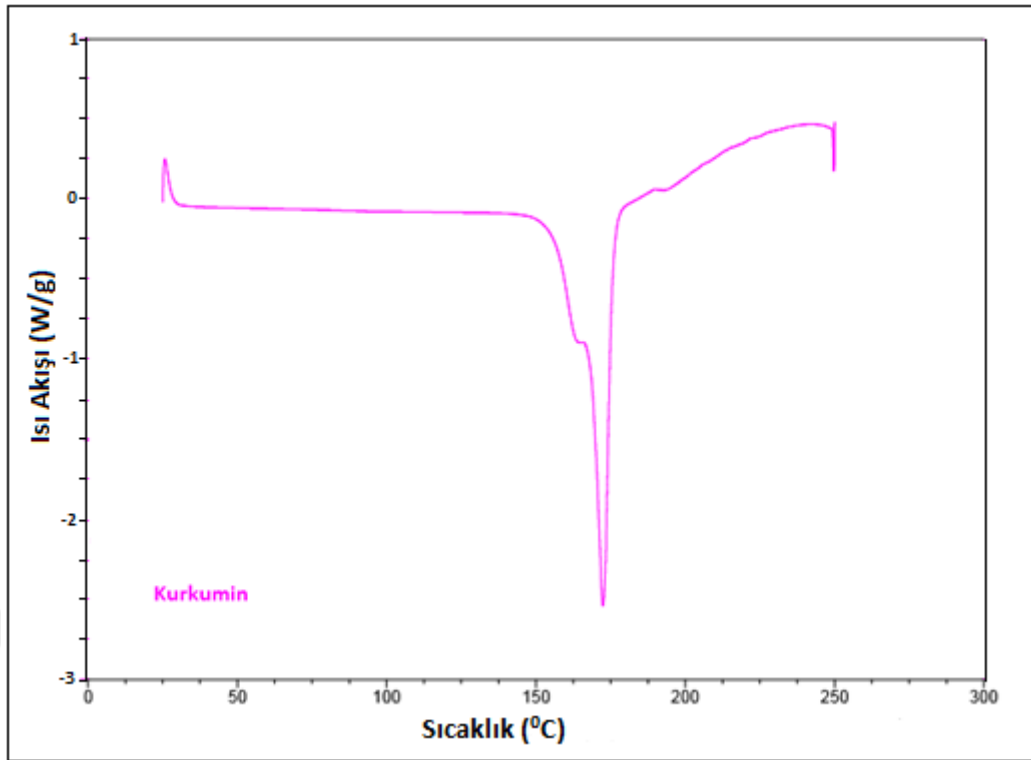
Kurkumin yüklü nanoliflerin spektrumunda gözlemlenen pikler saf gliadin nanolifinde tespit edilen piklerle oldukça benzerlik göstermiştir. Gliadin nanolifinde 3507 cm^{-1} de görülen hidroksil (-OH) grubu piki kurkumin yüklü nanoliflerde 3293 cm^{-1} bandına kaymıştır. Kurkumin spektrumunda 1500 cm^{-1} bandı altında gözlemlenen pikler, kurkumin yüklü nanoliflerin spektrumlarında tespit edilememiştir. Bu pikler büyük olasılıkla gliadinden gelen bantlar ile baskılanmıştır. Amid I ve amid II bantları sırasıyla 1649 ve 1538 cm^{-1} de belirlenmiştir. Bir diğer ifadeyle, amid I ve amid II bölgelerinde önemli bir etkileşim görülmemiştir. Kurkumindeki karbonil (C=O) grubu ve aromatik halkalar (C=C) ile ilişkili olan 1600 ve 1626 cm^{-1} deki bantlar kurkumin yüklü nanoliflerde de belirlenmiştir ve kurkumin konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak piklerdeki absorbanis yoğunlukları artış göstermiştir. Bu durum, kurkumindeki aromatik halkalar ve karbonil grupları ile gliadin proteinin hidrofobik etkileşime girdiğinin bir göstergesidir [110], [111].

4.5 Nanoliflerin DSC ile Termal Karakterizasyonu

Gliadin nanolifi, kurkumin yüklü gliadin nanolifleri ve kurkumin için yapılan ölçüm sonucunda DSC cihazının yazılım programında T_o (pikin başladığı sıcaklık), T_p (pik sıcaklığı) ve T_e (pikin sonlandığı sıcaklık) sıcaklıkları, T_g (camsı geçiş sıcaklıkları) ve entalpi değerleri (J / g) belirlenmiştir [62] ve Çizelge 4.3'te verilmiştir. Bütün nanoliflerde endotermik ısı akışını gösteren pikler bulunmaktadır. Bu pikler muhtemelen nanoliflerdeki bağlı suyun veya uçucu bileşenlerin evaporasyonundan kaynaklanan karakteristik piklerdir ve “dehidrasyon sıcaklığı” olarak nitelendirilebilir [24], [49]. Nanoliflere ve kurkumine ait termogramlar Şekil 4.4 ve 4.5'te gösterilmektedir.



Şekil 4.4 Gliadin nanolifi ve kurkumin yüklü gliadin nanoliflerine (KYGN) ait DSC termogramı



Şekil 4.5 Kurkumine ait DSC termogramı

Çizelge 4.3 Kurkumin ve kurkumin yüklü gliadin nanoliflerine (KYGN) ait DSC parametreleri*

	T_o °C	T_p °C	T_e °C	T_g °C	ΔH J/g
Gliadin nanolif	59.66±0.19 ^b	102.61±0,10 ^b	139.84±0.52 ^b	56.86±0.15 ^d	98.28±0.02 ^b
%2 KYGN	49.64±0.10 ^d	86.32±0.64 ^d	130.99±0.42 ^d	63.53±0.63 ^c	83.13±0.04 ^d
%5 KYGN	51.09±0.68 ^c	88.50±0.54 ^c	132.86±0.37 ^c	71.30±0.62 ^b	85.12±0.05 ^c
%10 KYGN	51.54±0.52 ^c	88.85±0.25 ^c	131.26±0.64 ^d	76.20±0.63 ^a	79.20±0.02 ^e
Kurkumin	150.03±0.48 ^a	172.44±30 ^a	180.06±0.35 ^a	-	120.90±0.03 ^a

*Kolondaki farklı harfler istatistiksel olarak ortalamalar arasındaki farkın önemli olduğunu göstermektedir (p <0,05)

Saf kurkuminin endotermik pik sıcaklığı 172.44 °C olarak tespit edilmiştir. Bu değer, Mohanty vd. [24] ve Yen vd. [1] tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda elde edilen değerlerle oldukça benzerdir. Bu pik, kurkuminin yüksek kristal yapı özelliğinin bir göstergesidir [24]. Şekil 4.3'te görüldüğü gibi, kurkuminin endotermik piki, kurkumin

yüklü gliadin liflerinde de çok zayıf bir pik şeklinde kendini göstermiştir. %2, %5 ve %10 oranlarında kurkumin yüklü olan nanoliflerde, kurkuminden kaynaklanan bu karakteristik pik sıcaklık değerleri sırasıyla 157.27 °C, 164.78 °C ve 169.60 °C olarak bulunmuştur. Literatürdeki benzer çalışmalarla kıyaslandığında bu durum göstermektedir ki, kurkumin gliadin nanolifleri içinde çok büyük oranda disperse olmuş ve yüksek enerjili amorf yapı oluşturmuştur. Bununla birlikte, kurkumin nanolifler içinde kristal yapısını belli bir ölçüde muhafaza etmiştir [1], [24], [86]. Gliadin nanolifine ait endotermik pik sıcaklık değeri, kurkumin yüklü nanoliflerin endotermik pik sıcaklıklarına kıyasla daha yüksektir.

4.6 Zeta Potansiyel Analizi

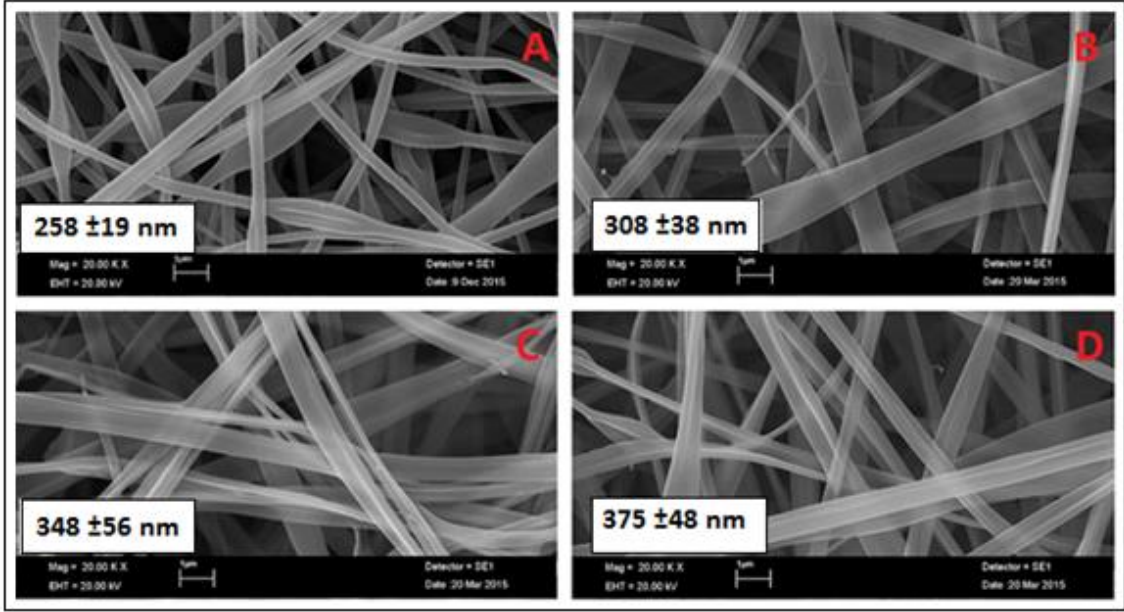
Çizelge 4.4, pH değeri 7.4 olan tampon çözelti ile disperse edilen liflere ait zeta potansiyel değerlerini göstermektedir. Genel olarak, nanolifler aralarındaki elektriksel itelemen dolay -30 mV ile +30 mV aralığı dışındaki değerlerde stabil bir dispersiyon oluşturmaktadır. Diğer yandan, gliadin yapısında bulunan nötral aminoasitlerden dolayı daha hafif yüklü olan bir protein olarak bilinmektedir [112] ve bu nedenle, bütün nanoliflerde -4 mV ile -9 mV arasında değişen düşük zeta potansiyel değerleri tespit edilmiştir. Bununla birlikte, liflerdeki kurkumin konsantrasyonu artışına bağlı olarak zeta potansiyel değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum, liflere enkapsüle edilen kurkumin konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak lif yüzeyinde de kurkumin miktarının arttığını ve dolayısıyla zeta potansiyelini yükselttiğini, başka bir deyişle dispersiyon stabilitesini arttırdığını göstermektedir [71], [113].

Çizelge 4.4 Gliadin nanolifi ve kurkumin yüklü gliadin nanoliflerine (KYGN) ait zeta potansiyel değerleri*

Örnek	Zeta potansiyel (mV)
Gliadin nanolifi	-4.02 ± 0.126 ^a
% 2 KYGN	-6.61 ± 0.141 ^b
% 5 KYGN	-7.01 ± 0.587 ^b
% 10 KYGN	-9.00 ± 0.532 ^c

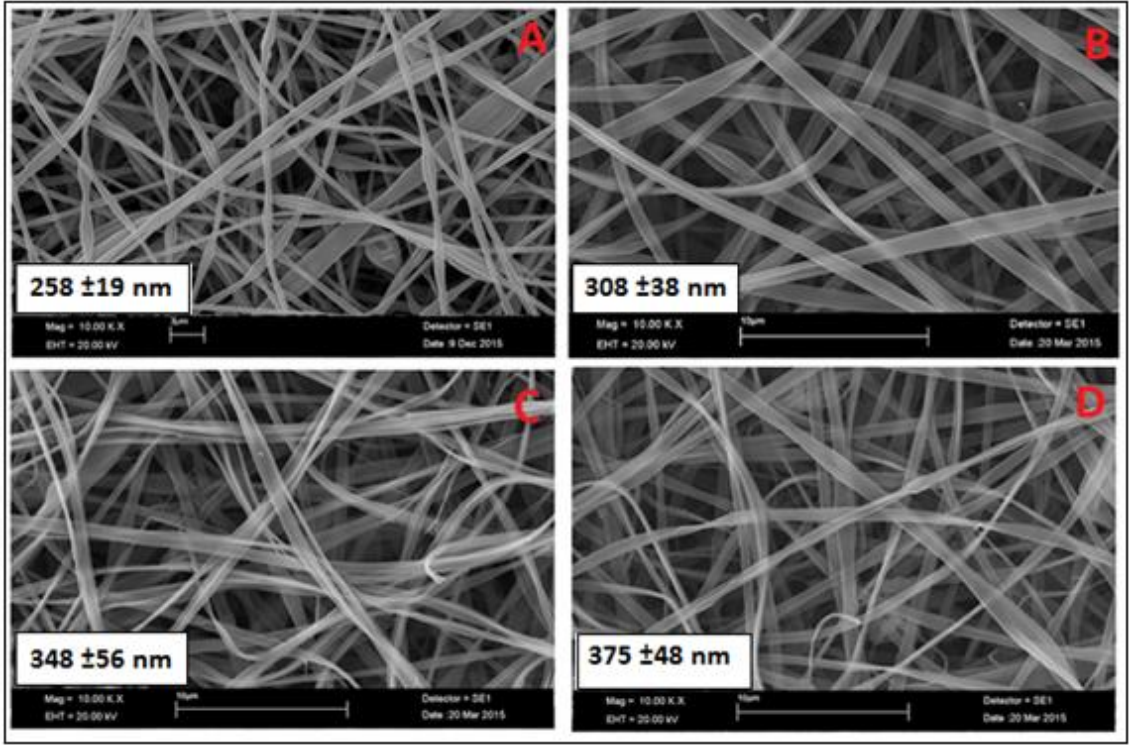
4.7 Nanoliflerin SEM ile Morfolojik Karakterizasyonu

Nanoliflerin morfolojisi ve çapı, elektrodöndürme işleminin ve enkapsülasyonun etkinlik derecesinin bir göstergesidir [49]. Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de kurkumin yüklü olmayan ve kurkumin yüklü gliadin nanoliflerinin sırasıyla 20.00 K x, 10.00 K x ve 5.00 K x objektif değerleri ile alınan SEM görüntüleri verilmektedir.

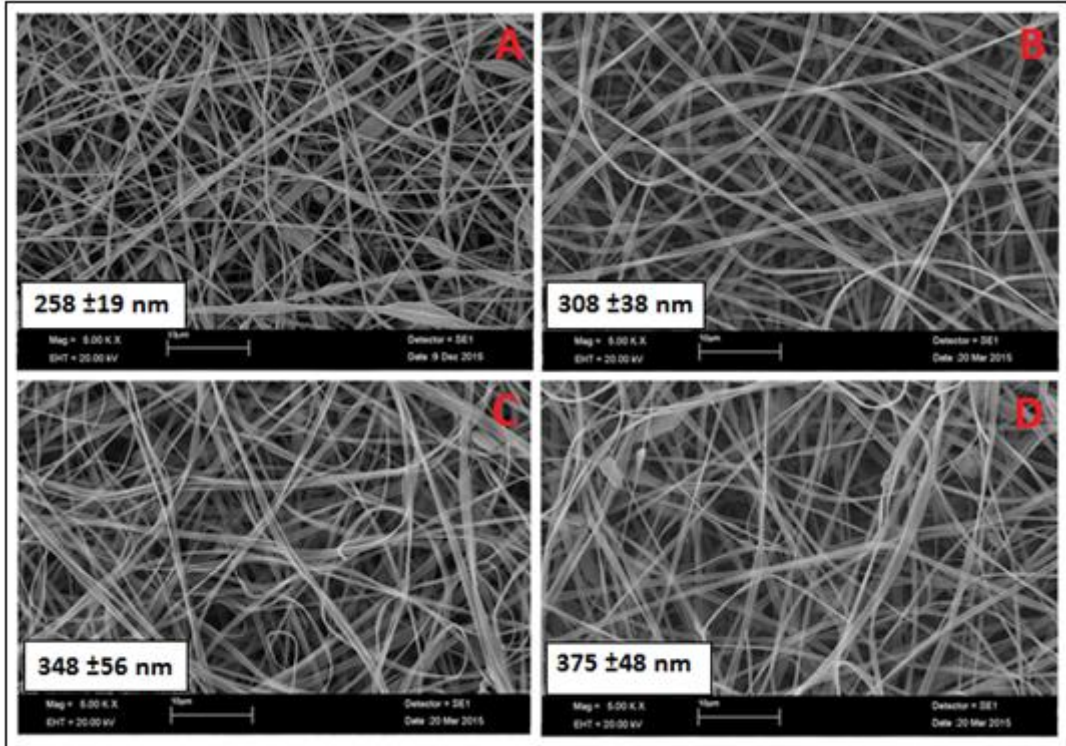


Şekil 4.6 Gliadin nanolifi (A), %2 kurkumin yüklü gliadin nanolifleri (B), %5 kurkumin yüklü gliadin nanolifleri (C) ve %10 kurkumin yüklü gliadin nanolifleri (D) SEM görüntüleri (20.00 K X)

Bu görüntülerde görülmektedir ki, kurkumin yüklü gliadin nanolifleri yüksek oranda homojen ve damlacıksız lif yapısına sahiptir. Ancak saf gliadin nanoliflerinde çok düşük düzeyde damlacık oluşumu gözlenmiştir. Saf gliadin nanoliflerinde ortalama çap 258 ± 19 nm olarak ölçülmüştür. Bu değer Soares vd. [86] tarafından gerçekleştirilen çalışmada üretilen saf gliadin nanoliflerinin çapları ile oldukça yakın ölçüdedir. Diğer yandan, gliadin nanoliflerinin kurkumin ile yüklenmesi lif çaplarında artışa yol açmıştır. Nanoliflerdeki kurkumin konsantrasyonu arttıkça, lif çapları da orantılı olarak artmıştır (Şekil 4.6, 4.7 ve 4.8). Bununla birlikte, bütün nanolifler pürüzsüz yüzeye sahiptir ve kurkumin yüklü nanoliflerde kurkuminden kaynaklanan herhangi bir agregasyon görülmemektedir. Bu durum, kurkuminin gliadin nanolifleri içinde iyi bir şekilde disperse olduğunun göstergesidir. Başka bir deyişle, kurkumin gliadin nanoliflerinin içine başarılı şekilde enkapsüle edilmiştir.



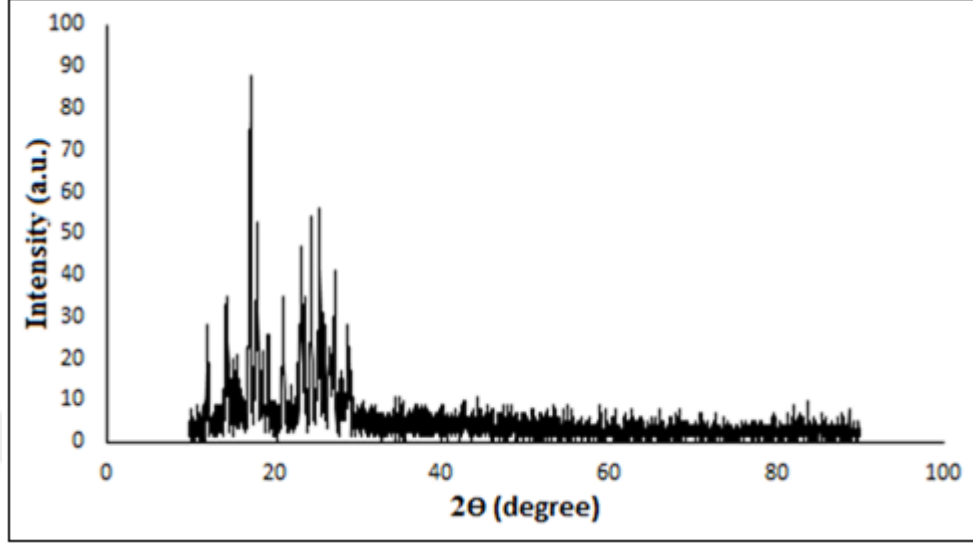
Şekil 4.7 Gliadin nanolifi (A), %2 kurkumin yüklü gliadin nanolifleri (B), %5 kurkumin yüklü gliadin nanolifleri (C) ve %10 kurkumin yüklü gliadin nanolifleri (D) SEM görüntüleri (10.00 K X)



Şekil 4.8 Gliadin nanolifi (A), %2 kurkumin yüklü gliadin nanolifleri (B), %5 kurkumin yüklü gliadin nanolifleri (C) ve %10 kurkumin yüklü gliadin nanolifleri (D) SEM görüntüleri (5.00 K X)

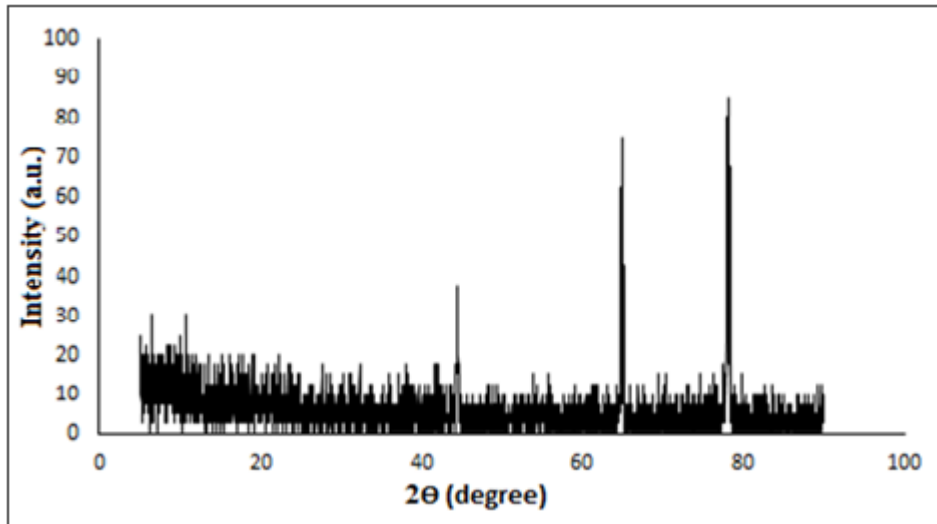
4.8 Nanoliflerin XRD ile Yapısal Karakterizasyonu

Kurkumin ve nanoliflerde kristal kafes yapısı gösteren XRD grafikleri Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te gösterilmektedir.



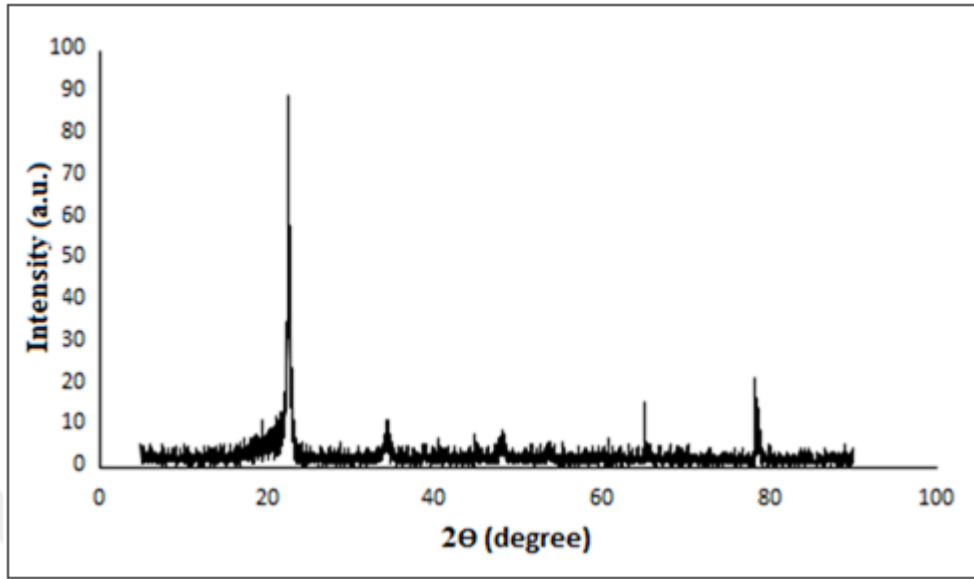
Şekil 4.9 Kurkuminin XRD grafiği

Şekil 4.9'da görüldüğü gibi, kurkumin oldukça keskin ve ince difraktogram piklerine sahiptir ve yüksek oranda kristalli yapı sergilemektedir [106]. Kurkumindeki difraksiyon açısı karakteristik pikleri 10°-30° arasındadır ve 8.43°, 11.72°, 14.16°, 16.92°, 17.87°, 20.80°, 23.20°, 24.22°, 25.24°, 26.94°, 27.86° ve 28.85° olarak tespit edilmiştir. Bu değerler, literatürde yer alan [1], [24], [106] ve [125] çalışmalarında bulunan sonuçlar ile oldukça uyumludur.



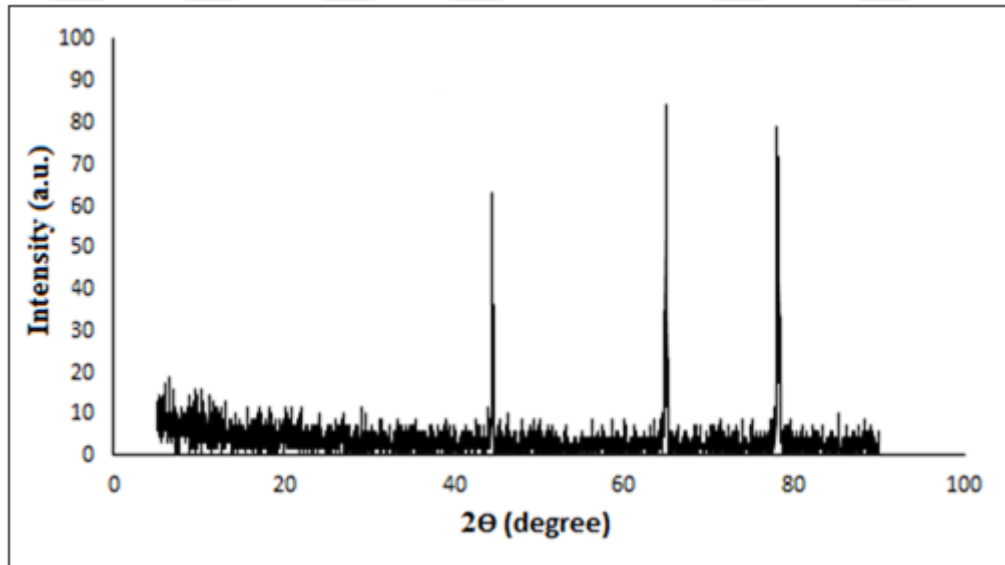
Şekil 4.10 Gliadin nanolifinin XRD grafiği

Şekil 4.10’da görüldüğü gibi, gliadin nanolifine ait karakteristik difraksiyon açısı değerleri 44.52° , 64.90° ve 78.08° olarak tespit edilmiştir.



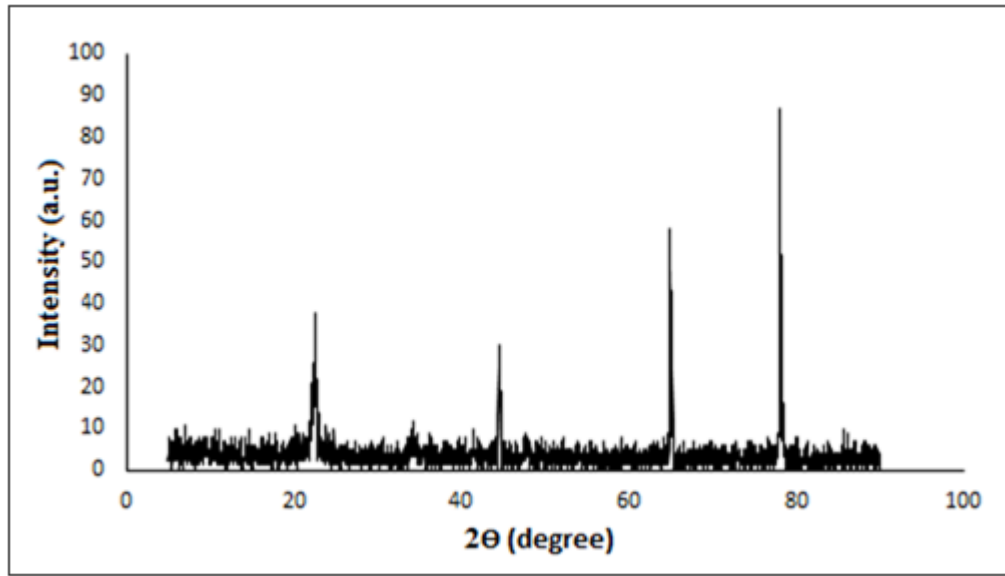
Şekil 4.11 %2 kurkumin yüklü gliadin nanoliflerinin XRD grafiği

Şekil 4.11’de görüldüğü gibi, %2 oranında kurkumin yüklü gliadin nanolifinin karakteristik pikleri 22.66° , 65.14° ve 78.34° olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.12 %5 kurkumin yüklü gliadin nanoliflerinin XRD grafiği

Şekil 4.12’de görüldüğü gibi, %5 oranında kurkumin yüklü gliadin nanolifinin karakteristik pikleri 44.48° , 64.88° ve 78° olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.13 %10 kurkumin yüklü gliadin nanoliflerinin XRD grafiği

Şekil 4.13'te görüldüğü gibi %10 oranında kurkumin yüklü olan gliadin nanolifinin karakteristik difraksiyon açısı pik değerleri 23.20° , 44.58° , 64.94° ve 78.06° olarak tespit edilmiştir.

Kurkumin ve nanoliflere ait yukarıda verilen grafikler incelendiğinde görülmektedir ki, kurkumin nanolifler içinde çok büyük ölçüde enkapsüle olmuştur ve karakteristik pikler hemen hemen kaybolmuştur. Ancak, amorf yapıdaki nanolifler içinde bir miktar kristal yapıda kurkumin bulunmaktadır. Nitekim Ramalingam vd. [125] tarafından gerçekleştirilen çalışmada da, polihidroksietil metakrilat nanoliflerine farklı oranlarda kurkumin enkapsüle edilmiş, XRD analizleri sonucunda bir miktar kurkuminin nanolifler içinde kristal yapıda kaldığı tespit edilmiştir. Mohanty vd. [24] tarafından gerçekleştirilen başka bir çalışmada ise, kurkumin polivinilalkol ile nanopartikül haline getirilmiş ve elde edilen nanopartiküllerde kurkuminin karakteristik piklerine rastlanmamıştır. Bu durumun kurkuminin polimer matriks içinde katı halde çözünebilir duruma geçmesinden kaynaklandığı belirtilmiştir.

Kurkuminin polimer matriks içinde kristal yapıda kalması kontrollü salınımını nispeten zorlaştırmaktadır. Diğer yandan, düzensiz kristal yapı veya katı halde çözünebilir formda bulunması, moleküllerin polimer matriksi boyunca kolayca difüze olmasını sağlamakta ve dolayısıyla kontrollü bir salınım gerçekleşmesine yardımcı olmaktadır [24]. %10 oranında kurkumin yüklü olan gliadin nanolifinde kurkumine ait 23.20°

karakteristik aç ı pikine rastlanm ıştır. Bu durum, lif i inde bir miktar kristal yapıda kurkumin bulunduğunu g stermektedir. Kontroll  salınım sonuları değerlendirildiğinde, %2 ve %5 kurkumin y kl  nanoliflerden analiz periyodu sonunda yaklaşık %99 kurkumin salınımı olduğu, %10 kurkumin y kl  nanoliflerden ise %95 oranında kurkumin salınımı olduğu g r lmektedir. Bu durum, %10 kurkumin y kl  nanoliflerde bir miktar kristal formda kurkumin bulunmasının salınımı bir nebze zorlaştırdığının bir g stergesidir.

4.9 Enkaps lasyon Etkinliği

Kurkumin y kl  nanoliflerin enkaps lasyon etkinlikleri izelge 4.5'te g sterilmiştir. Genel olarak b t n liflerdeki enkaps lasyon etkinliği %80-85 aralığındadır. Literat rde elektrospreyleme/elektrod nd rme işlemlerinin uygulandığı bazı enkaps lasyon alışmalarında %80 - %96 aralığında enkaps lasyon etkinliğine ulaşıldığına dair sonular bildirilmiştir [114], [115]. Enkaps lasyon işleminde kullanılan polimer, solvent, surfaktan ve bunlar arasında gerekleşebilen interaksiyonlar enkaps lasyon etkinliğindeki başarıyı belirleyen en nemli fakt rlerdir [116].

izelge 4.5 Kurkumin y kl  gliadin nanoliflerine (KYGN) ait enkaps lasyon etkinlikleri*

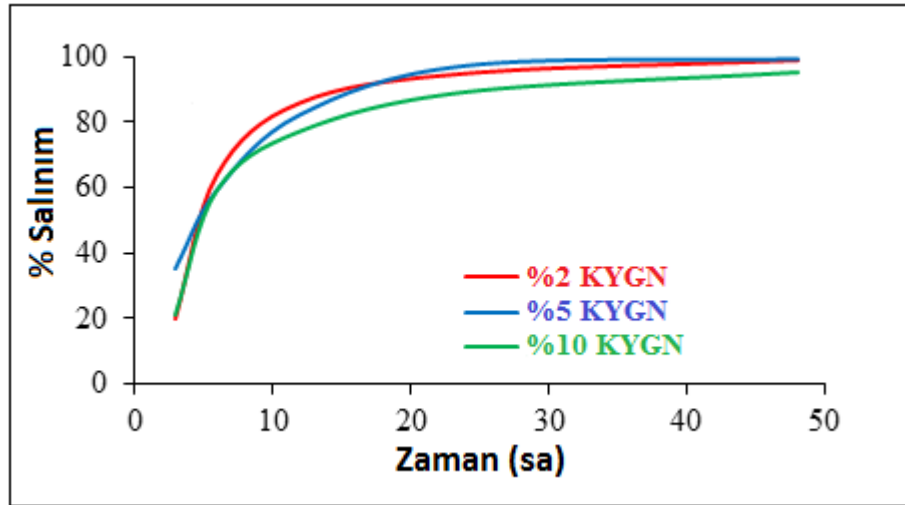
rnek	Enkaps lasyon etkinliği (%)
% 2 KYGN	80.73 $\pm$ 1.06 ^b
% 5 KYGN	82.00 $\pm$ 1.15 ^{ab}
% 10 KYGN	84.83 $\pm$ 2.99 ^a

*kolondaki farklı harfler istatistiksel olarak ortalamalar arasındaki farkın nemli olduğunu g stermektedir (p <0,05)

4.10 *In vitro* Kontroll  Salınım

%2, %5 ve %10 oranlarında kurkumin y kl  gliadin nanoliflerine ait 48 saatlik salınım analizi grafiği şekil 4.14'te g sterilmektedir. B t n nanoliflerde ilk  saat hızlı bir salınım g zlenmiştir ve bu salınım hızı yavaş azalarak 12 saat boyunca devam

etmiştir. Bu hızlı salınım periyodunun ardından 48. saatin sonuna kadar bütün liflerde kontrollü bir salınım gözlenmiştir.



Şekil 4.14 Kurkumin yüklü gliadin nanoliflerinden kurkuminin kontrollü salınımı

Başlangıçta nanoliflerden %20-25 oranında kurkumin salınımı tespit edilmiş, daha sonra bu oran 12. saatin sonunda %75-80'e ulaşmıştır. Daha sonraki 36 saatlik periyotta kurkumin kontrollü bir şekilde salınarak salınım oranı %95-99 oranına ulaşmıştır. Polimerlerle enkapsüle edilen biyoaktif maddelerin salınım sistemlerinde, genellikle ilk bir kaç saat oldukça hızlı bir salınım gerçekleşmektedir [117]. Bu durum, nanoliflerin en dış katmanında bulunan kurkuminin hızlı bir şekilde salınım ortamına geçmesinden kaynaklanmaktadır. Daha sonraki periyotta gerçekleşen kontrollü salınım ise, liflerin en dış katmanından difüze olan kurkumin moleküllerinin koruyucu bir etki göstererek lifin iç katmanlarına su moleküllerinin geçişini sınırlandırmasından kaynaklanmaktadır [117], [118].

Şekil 4.14'te görüldüğü gibi, ilk 12 saatlik periyotta %2 kurkumin yüklü gliadin nanolifinden diğer nanoliflere kıyasla daha hızlı bir salınım gerçekleşmiştir. Daha sonraki periyotta salınım oranları dengelenerek benzer hale gelmiştir ve 48. saatin sonuna gelindiğinde %2, %5 ve %10 kurkumin yüklü gliadin nanoliflerinden sırasıyla %99, %99 ve %95 oranlarında kurkumin salınımı gerçekleşmiştir.

4.11 Antioksidan Aktivite

Antioksidan aktivite analizi DPPH indirgeme prosedürü kullanılarak gerçekleştirilmiştir ve sonuçlar Çizelge 4.6'da verilmektedir. Kurkumin antioksidan aktivite gösteren polifenollerden biridir ve gıda katkı maddesi olarak da kullanılmaktadır [1]. Literatürde yer alan çalışmalarda da belirtildiği gibi, kurkuminin antioksidan özelliği, sahip olduğu fenolik hidroksil (-OH) grubu ve molekülleri arasında yer alan metilen (CH₂) grubundan hidrojenin ayrılması ile ilişkilidir [119], [120].

Çizelge 4.6 Gliadin nanolifi ve kurkumin yüklü gliadin nanoliflerinin (KYGN) antioksidan aktivitesi*

Örnek	Antioksidan aktivite (%)
Gliadin nanolifi	5.136 ± 0.175 ^d
% 2 KYGN	56.244 ± 0.296 ^c
% 5 KYGN	88.066 ± 0.122 ^b
% 10 KYGN	90.886 ± 0.531 ^a

*Kolondaki farklı harfler istatistiksel olarak ortalamalar arasındaki farkın önemli olduğunu göstermektedir (p < 0,05)

Kurkuminin antioksidan aktivitesi DPPH radikalleri üzerindeki inaktivasyon mekanizmasına bağlıdır ve bu aktivite değeri 550 nm'de fotometrik yöntemle tespit edilebilmektedir [121]. Çizelge 4.6'da görüldüğü gibi, saf gliadin nanolifi yaklaşık %5.14 inhibisyon gösterirken %2, %5 ve %10 kurkumin yüklü nanolifler sırasıyla %56.24, %88.07 ve % 90.89 inhibisyon göstermiştir. Gliadin nanolifinin az da olsa antioksidan özellik göstermesi yapısındaki bazı aminoastler (His, Arg, Ala, Val, Met and Leu) ve kısa peptitlerden ileri gelmektedir [122], [123], [124]. Diğer yandan, kurkumin yüklü nanolifler oldukça güçlü antioksidan etki göstermiştir ve lif içindeki kurkumin konsantrasyonu arttıkça nanoliflerin antioksidan etkisi de artmıştır.

Sonuç olarak, literatürdeki bazı çalışmalarda da belirtildiği gibi, kurkumin oldukça güçlü antioksidan aktiviteye sahiptir [24], [125] ve bu nedenle gliadin gibi kurkumin yüklü nanoliflerin antioksidan kapasitesinin artırılmasına yönelik çalışmalar özellikle biyomedikal uygulamalar açısından büyük önem taşımaktadır.

4.12 Antibakteriyel Aktivite

Antibakteriyel aktivite analizleri, nanoliflerin dinamik bir sistem içinde bakteriyel gelişim üzerindeki inhibisyon etkisi incelenerek gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla test mikroorganizmaları olarak *S. aureus* (Gr +) ve *E. coli* (Gr -) patojenleri seçilmiştir. Çizelge 4.7’de görüldüğü gibi gliadin nanolifi bakteriyel gelişimi inhibe etmemiştir. Diğer yandan kurkumin yüklü nanoliflerin hem *S. aureus* hem de *E. coli* üzerinde kuvvetli inhibisyon etkisi olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, nanoliflerdeki kurkumin konsantrasyonu arttıkça inhibisyon etkisi de artmıştır.

Çizelge 4.7 Gliadin nanolifi ve kurkumin yüklü gliadin nanoliflerinin (KYGN) antimikrobiyal aktivitesi*

Örnek	% İnhibisyon	
	<i>S. aureus</i>	<i>E. coli</i>
Gliadin nanolif	0	0
%2 KYGN	62.51±1.12 ^c	60.11±1.65 ^c
%5 KYGN	74.03±0.89 ^b	77.32±1.03 ^b
%10 KYGN	82.46±1.34 ^a	87.21±0.92 ^a

*Kolondaki farklı harfler istatistiksel olarak ortalamalar arasındaki farkın önemli olduğunu göstermektedir (p <0,05)

Ramalingam vd. [125] ve Lian vd. [32] çalışmalarında belirttikleri gibi, kurkumin oldukça kuvvetli antibakteriyel etkiye sahiptir. Nitekim bu çalışmada da kurkumin yüklü nanolifler oldukça iyi antibakteriyel aktivite göstermiştir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Gıdaların muhafaza edilmesinde, raf ömrünün uzatılmasında, değerli besin bileşenlerin stabilitesinin artırılmasında ve fonksiyonel ürünler geliştirilmesinde nanoteknolojik uygulamalar büyük öneme sahiptir. Nitekim son yıllarda gıda sektöründe nanoteknolojik uygulamalar ivme kazanmıştır. Bu uygulamalardan biri de elektrodöndürme yöntemi ile çeşitli biyoaktif maddelerin biyopolimerler içine enkapsüle edilerek stabilitesinin ve fonksiyonelliğinin artırılmasıdır.

Bu çalışmada, gliadin protein kullanılarak elektrodöndürme yöntemi ile farklı konsantrasyonlarda kurkumin yüklü gliadin nanolifleri üretilmiş ve karakterize edilerek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Elektrodöndürme işleminde kullanılan besleme çözeltilerinin reolojik özellikleri incelenmiş ve çözeltilerin viskozitelerinin kesme hızı ile değişmediği, Newtonian akış davranışı gösterdikleri belirlenmiştir. Çözeltilerin viskoziteleri incelendiğinde, çözeltideki kurkumin miktarı arttıkça viskozite değerinin de arttığı gözlenmiştir.
2. Üretilen nanoliflerin renk ve floresans emisyon özellikleri incelenmiş ve kurkumin yüklü nanoliflerin oldukça iyi floresans emisyon özelliği taşıdığı belirlenmiştir. Liflerdeki kurkumin konsantrasyonu arttıkça emisyon kuvveti de artmıştır. UV görüntülerine bakıldığında, kurkuminin lifler içinde homojen şekilde dağıldığı ve herhangi bir agregasyon olmadığı görülmüştür.
3. Üretilen nanoliflerin ATR-FTIR Spektroskopisi ile moleküler karakterizasyonu yapılmış ve kurkumin yüklü gliadin nanoliflerinin spektrumları ile saf gliadin

nanolifinin spektrumunun oldukça benzer olduğu gözlenmiştir. Bu durum, kurkuminin nanolifler içinde çok iyi şekilde enkapsüle olduğunu ve gliadinden gelen bantlar tarafından maskelendiğini göstermiştir.

4. Nanoliflerin DSC ile termal karakterizasyonu gerçekleştirilmiş ve kurkumin gliadin nanolifleri içinde çok büyük oranda disperse olarak yüksek enerjili amorf yapı oluşturduğu belirlenmiştir. Bunun yanında, kurkumin nanolifler içinde kristal yapısını belli bir ölçüde muhafaza etmiştir. Gliadin nanolifine ait endotermik pik sıcaklık değeri, kurkumin yüklü nanoliflerin endotermik pik sıcaklıklarına kıyasla daha yüksek bulunmuştur.
5. Nanoliflerin dispersiyon stabilitelerini belirlemek için zeta potansiyelleri ölçülmüş ve kurkumin yüklü gliadin nanoliflerinin saf gliadin nanolifine kıyasla daha yüksek zeta potansiyeline sahip oldukları gözlenmiştir. Ayrıca, nanoliflerdeki kurkumin konsantrasyonu artışına bağlı olarak zeta potansiyel değeri de artmıştır. Bu sonuç, kurkuminin gliadin nanolifinin dispersiyon stabilitesini artırdığını göstermiştir.
6. Nanoliflerin SEM ile morfolojik karakterizasyonu gerçekleştirilmiş ve kurkumin yüklü olan ve olmayan bütün nanoliflerin oldukça homojen ve pürüzsüz yüzey yapısı gösterdikleri belirlenmiştir. Bununla birlikte, kurkuminin agregasyona uğramadığı ve lifler içinde homojen şekilde disperse olduğu gözlenmiştir.
7. Nanoliflerin XRD ile yapısal karakterizasyonu gerçekleştirilmiş ve lifler içinde kurkuminin bir miktar kristal yapıda kaldığı belirlenmiştir. DSC ve kontrollü salınım analizlerinden elde edilen sonuçlar da bu bulguları destekler niteliktedir.
8. Nanoliflerin enkapsülasyon etkinliklerinin %80-85 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Kontrollü salınım analizlerinde ise, ilk 12 saat hızlı bir salınım olduğu ve daha sonra bu hızlı salınımın yerini kontrollü bir salınım periyodunun aldığı belirlenmiştir.
9. Antioksidan aktivite analizi sonucunda, kurkumin yüklü nanoliflerin oldukça güçlü antioksidan etki gösterdiği ve lif içindeki kurkumin konsantrasyonu arttıkça nanoliflerin antioksidan etkisinin de arttığı belirlenmiştir. Benzer

şekilde, *S. aureus* ve *E. coli* patojenleri kullanılarak gerçekleştirilen antibakteriyel aktivite analizi sonucunda, kurkumin yüklü nanoliflerin test patojenlerini %87'ye varan oranda inhibe ettiği tespit edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, gliadin nanolifi kurkumin ve benzeri biyoaktif maddelerin taşınması için oldukça uyumlu bir biyobozunur enkapsülasyon materyalidir. Gliadinin mide mukozasında çok iyi şekilde adsorbe olduğuna dair literatür bilgileri mevcuttur, ancak konu ile ilgili çalışmalar sınırlıdır. Gliadinin bu özelliğinden yararlanılarak kurkumin gibi biyoaktif maddeler gliadin içine enkapsüle edilebilir ve böylelikle bu maddelerin muhafazası sağlanabilir, biyoyararlılıkları artırılabilir ve fonksiyonel gıda ürünleri üretilebilir. Bununla birlikte, biyomedikal uygulamalarda, özellikle ilaç taşıma sistemlerinde kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Yen, F., Wu T., Tzeng, C., Lin, L. ve Lin, C., (2010). "Curcumin Nanoparticles Improve the Physicochemical Properties of Curcumin and Effectively Enhance Its Antioxidant and Antihepatoma Activities", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58:7376–7382.
- [2] Sunguc, C., (2013). Encapsulation of Sarcopoterim Spinosum Extract in Zein Particle by Using Electrospray Method, Yüksek Lisans Tezi, İzmir İleri Teknoloji Enstitüsü Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [3] Grover, J. ve Yadav, S., (2004). "Pharmacological Actions and Potential Uses of Momordica Charantia: a review", *Journal of Ethnopharmacology*, 93:123–132.
- [4] Betz, M. ve Kulozik, U., (2011). "Microencapsulation of Bioactive Bilberry Anthocyanins by Means of Whey Protein Gels", *Procedia Food Science*, 1: 2047 – 2056.
- [5] Ozkan, G., Sagdic, O., Gokturk, S., Unal, O. ve Albayrak, S., (2010). "Study on Cemical Composition and Biological Activities of Essential Oil and Extract from Salvia Pisidica", *LWT - Food Science and Technology*, 43:186-190.
- [6] Champagne, C.P. ve Fustier, P., (2007). "Microencapsulation for the Improved Delivery of Bioactive Compounds into Foods", *Current Opinion in Biotechnology*, 18:184-190.
- [7] Ghosh, S.K., (2006). "Functional Coatings and Microencapsulation: A General Perspective: Wiley Online Library.
- [8] Zuidam, N. ve Shimon, E., (2010). "Overview of Microencapsulates for Use in Food Products or Processes and Methods to Make them", In: Zuidam, N.J., Nedovic, V. (Eds.), *Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing*. Springer, New York, pp. 329.
- [9] Desai, K. ve Park, H.J., (2005). "Recent Developments in Microencapsulation of Food Ingredients", *Drying Technology*, 23 (7):1361–1394.
- [10] Anal, A.K. ve Singh, H., (2007). "Recent Advances in Microencapsulation of Probiotics for Industrial Applications and Targeted Delivery", *Trends Food Science and Technology* 18(5):240–251.

- [11] Burgain, J., Gaiani, C., Linder, M. ve Scher, J., (2011). "Encapsulation of Probiotic Living Cells: From Laboratory Scale to Industrial Applications", *Journal of Food Engineering*, 104(4):467–483.
- [12] İkiz, Y. (2009). "Elektro Çekim Yöntemi İşlem Parametrelerinin PVA Nanolif Morfolojisine Etkileri" *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 363369.
- [13] Onwulata, C. I. (2012). "Encapsulation of New Active Ingredients", *Annual Reviews in Food Science and Technology*, 3:183-202.
- [14] Elzoghby, A. O., Abo El-Fotoh, W. S. ve Elgindy, N. A., (2011). "Casein based Formulations as Promising Controlled Release Drug Delivery Systems", *Journal of Controlled Release*, 153:206–216.
- [15] Lu, Y. ve Chen, S. C., (2004). "Micro and Nano-Fabrication of Biodegradable Polymers for Drug Delivery", *Advanced Drug Delivery Reviews*, 56:1621–1633.
- [16] Coester, C., Nayyar, P. ve Samuel, J., (2006). "In vitro Uptake of Gelatin Nanoparticles by Murine Dendritic Cells and Their Intracellular Localisation", *Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 62:306–314.
- [17] Umamaheshwari, R. B., Ramteke, S. ve Jain, N. K., (2004). "AntiHelicobacter pylori Effect of Mucoadhesive Nanoparticles Bearing Amoxicillin in Experimental Gerbils Model", *AAPS PharmSciTech*, 5:60–68.
- [18] Vitaglione, P., Barone Lumaga, R., Ferracane, R., Radetsky, I., Mennella, I., Schettino, R., Koder, S., Shimoni, E. ve Fogliano, V., (2012). "Curcumin Bioavailability from Enriched Bread: the Effect of Microencapsulated Ingredients", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60:3357–3366.
- [19] Khalil, O. A. K., de Faria Oliveira, O. M. M., Velloso, J. C. R., de Quadros, A. U., Dalposso, L. M., Karam, T. K., Mainardes, R. M. ve Khalil, N. M., (2012). "Curcumin Antifungal and Antioxidant Activities are Increased in the Presence of Ascorbic acid", *Food Chemistry*, 133:1001–1005.
- [20] Priyadarsini, K. I., (2014). "The Chemistry of Curcumin: From Extraction to Therapeutic Agent", *Molecules*, 19(12):20091-20112.
- [21] Kirtikar, K.R. ve Basu, B.D., (1993). *Indian Medicinal Plants*, Second Edition, Vol. II., Lalit Mohan Basu, Allahabad, India.
- [22] Khanna, M. M., (1999). "Turmeric – Nature's Precious Gift", *Current Science*, 76(10):1351–1356.
- [23] Kuntal Das, (2016). *Turmeric (Curcuma longa) Oils, Named essential oils, Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety Chapter 95*, 125 London Wall, London EC2Y 5AS, UK.
- [24] Mohanty, C. ve Sahoo, S.K, (2010). "The in vitro Stability and in vivo Pharmacokinetics of Curcumin Prepared as an Aqueous Nanoparticulate Formulation", *Biomaterials*, 31:6597-6611.

- [25] Priyadarsini, K.I., (2013). "Chemical and Structural Features Influencing the Biological Activity of Curcumin", *Current Pharmaceutical Design*, 19:2093–2100.
- [26] Priyadarsini, K.I., (2009). "Photophysics, Photochemistry and Photobiology of Curcumin: Studies from Organic Solutions, Bio-mimetics and Living Cells", *Journal of Photochemistry and Photobiology C*, 10:81–96.
- [27] Mishra, S., Narain, U., Mishra, R. ve Misra, K., (2005). "Design, Development and Synthesis of Mixed Bioconjugates of Piperic acid–Glycine, Curcumin–Glycine/Alanine and Curcumin–Glycine–Piperic acid and Their Antibacterial and Antifungal Properties", *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, 13:1477–1486.
- [28] Negi, P. S., Jayaprakasha, G. K., Jagan Mohan Rao, L. and Sakariah, K. K. (1999). "Antibacterial Activity of Turmeric Oil: a by-product from Curcumin Manufacture", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47:4297–4300.
- [29] Du, Y., Long, Q., Zhang, L., Shi, Y., Liu, X., Li, X., Guan, B., Tian, Y., Wang, X., Li, L., He, D., (2015). "Curcumin Inhibits Cancer-associated Fibroblast-driven Prostate Cancer Invasion through MAOA/mTOR/HIF-1 α signaling", *International Journal of Oncology*, 47:2064–2072.
- [30] Kocaadam, B., Sanlier, N., (2015). "Curcumin, an Active Component of Turmeric (*Curcuma longa*), and Its Effects on Health", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, DOI: 10.1080/10408398.2015.1077195.
- [31] Calvo, J., Calvente, V., de Orellano, M. E., Benuzzi, D., Sanz de Tosetti, M. I., (2007). "Biological Control of Postharvest Spoilage Caused by *Penicillium expansum* and *Botrytis cinerea* in Apple by Using the Bacterium *Rahnella aquatilis*", *International Journal of Food Microbiology*, 113:251–257.
- [32] Lian, Y., Zhan, J.C., , Zhang, K. ve Mo, X., (2014). "Fabrication and characterization of curcumin-loaded silk fibroin/P(LLA-CL) nanofibrous scaffold", *Frontiers of Materials Science*, 8(4): 354-362.
- [33] Kumru, A., (2013). Elektroüretimle Nanolif Eldesine Etki Eden Faktörlerin ve Jelatin-Pektin İçeren Nanoliflerin Model Gıdaların Reolojik Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [34] Tarhan, Ö., Gökmen, V., ve Harsa, Ş., (2010). "Nanoteknolojinin Gıda Bilim ve Teknolojisi Alanındaki Uygulamaları", *Gıda*, 35(3):219-225.
- [35] Neethirajan, S. ve Jayas, D.S., (2010). "Nanotechnology for the Food and Bioprocessing Industries", *Food Bioprocessing Technology* 4(1):3947.
- [36] Decker K. J., (2003). "Wonder Waters: Fortified and Flavoured Waters", *Food Product Design*, 13(5): 57-74.
- [37] Hazen C., (2003). "Formulating Function into Beverages", *Food Product Design*, 12(10):36-70.

- [38] ElAmin A., (2005), Claim: Nanofood Patents Could Close Down Innovation, <http://www.foodproductiondaily.com/Supply-Chain/Claim-Nanofood-patents-could-close-down-innovation>, 22 Şubat 2016.
- [39] INNI, Israel National Nanotechnology Initiative, (2006), Researchers in Israel and U.S. Select Top Four Nanotech Projects, <https://nick2.wordpress.com/2006/07/27/researchers-in-israel-and-us-select-top-four-nanotech-projects/>, 22 Şubat 2016.
- [40] Gardner E., (2003), Brainy Food: Academia, Industry Sink Their Teeth Into Edible Nano, <http://electroi.com/blog/2002/06/brainy-food-academia-industrybr-sink-their-teeth-into-edible-nano/>, 22 Şubat 2016.
- [41] Fletcher A., (2006), Nanotech Antioxidant System: Food Ingredients of the Future, <http://www.foodnavigator.com/Science/Nanotech-antioxidant-system-food-ingredients-of-the-future>, 22 Şubat 2016.
- [42] Heller L., (2006), Flavor firm uses nanotechnology for new ingredient solutions, <http://www.foodnavigator-usa.com/Suppliers2/Flavor-firm-uses-nanotechnology-for-new-ingredient-solutions>, 22 Şubat 2016.
- [43] Chen, H., Weiss, J. ve Shadidi, F., (2006). "Nanotechnology in Nutraceuticals and Functional Foods", Food Technology, 60(3): 30-36.
- [44] ElAmin A., (2006), Nanocantilevers Studied for Quick Pathogen Detection, <http://www.foodproductiondaily.com/Safety-Regulation/Nanocantilevers-studied-for-quick-pathogen-detection>, 22 Şubat 2016.
- [45] Roach S., (2006a), Instant, Portable, Simultaneous Pathogen Inspection, <http://www.foodproductiondaily.com/Processing/Instant-portable-simultaneous-pathogen-inspection>, 22 Şubat 2016.
- [46] ElAmin A., (2005b), Nanotechnology Targets New Food Packaging Products, <http://www.foodproductiondaily.com/Packaging/Nanotechnology-targets-new-food-packaging-products>, 22 Şubat 2016.
- [47] Roach S., (2006b), Nanotechnology passes first toxicity hurdle, <http://www.foodproductiondaily.com/Packaging/Nanotechnology-passes-first-toxicity-hurdle>, 22 Şubat 2016.
- [48] IFST (Institute of Food Science and Technology), (2006), Nanotechnology, <http://www.fstjournal.org/features/28-4/nanotechnology>, 22 Şubat 2016.
- [49] Besir, A., (2015). Formation of Polymeric Micro/Nano Particles and Fibers Including Bitter Melon (*Momordica charantia* L.) Extract by Electrospinning Method, Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [50] Loh, X. J., Peh, P., Liao, S., Sng, C., ve Li, J. (2010). "Controlled Drug Release from Biodegradable Thermoresponsive Physical Hydrogel Nanofiber", Journal of Controlled Release, 143:175-182.
- [51] Gaysinsky, S., Davidson, P., McClements ve D.J., Weiss, J., (2007). "Formulation and Characterization of Phytophenol-carrying Microemulsions", Food Biophysics, 3:54–65.

- [52] Zhang, Y., Lim ,C., Ramakrishna, S. ve Huang, Z., (2005). "Recent Development of Polymer Nanofibers for Biomedical and Biotechnological Applications", *Journal of Material Science: Material in Medicine*, 16:933–46
- [53] Huang, Z., Zhang, Y., Kotaki, M. ve Ramakrishna, S., (2003). "A Review on Polymer Nanofibers by Electrospinning and Their Applications in Nanocomposites", *Composites Science and Technology*, 63:2223–53.
- [54] Kriegel, C., Arrechi, A., Kıt, K., Mcclements, D. J., ve Weiss, J. (2008). "Fabrication, Functionalization and Application of Electrospun Biopolymer Nanofibers", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48:775-797.
- [55] Süpüren, G., Kanat, Z. E., Çay, A., Kırıcı, T., Gülümser, T., ve Tarakçıoğlu, I. (2007). "Nanolifler", *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, 1:83-89.
- [56] Kozanoğlu, S., (2006). Elektrospinning Yöntemiyle Nanolif Üretim Teknolojisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [57] Kılıç, (2008). Eriyikten Elektroüretim Yöntemiyle Polipropilen Nanolif Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [58] Andradı, A. L., (2008). Science and Technology of Polymer Nanofibers, Birinci Baskı, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- [59] Rutledge, G. C. ve Fridrikh, S. V., (2007). "Formation of Fibers by Electrospinning", *Advanced Drug Delivery Reviews*, 59:1384-1391.
- [60] Gouma, P. I., (2010). Nanomaterials for Chemical Sensors and Biotechnology, Birinci baskı, Pan Stanford Pub., Singapur.
- [61] Haghi, A. K., (2011). Multilayer Laminated Nanofibers. Nanofibers and Nanotechnology Research Advances, Birinci Baskı, Nova Science Pub., Inc., New York.
- [62] Terzi, P., (2013). Elektrodöndürme Yöntemiyle Elde Edilen Jelatin Nanoliflerin Gıdalarda Kıvam Verici Olarak Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [63] Sener, A., (2011). Elektro Üretim Yöntemiyle Sodyum Aljinat ve Mısır Nişastası İçeren Nanolif Eldesine Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [64] Reneker, D. H., Yarin, A. L., Fong, H. and Koombhongse, S., (2000). "Bending instability of Elec- trically Charged Liquid Jets of Polymer Solutions in Electrospinning", *Journal of Applied Physics*, 87(9 I):4531–4547.
- [65] Kulkarni, A., Bambole, V. and Mahanwar, P., (2010). "Electrospinning of Polymers, Their Modeling and Applications", *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 49(5):427-441.
- [66] Yener, F., Jırsak, O. ve Yalçınkaya, B., (2011). "Materyal Parametrelerinin Elektro Lif Çekim Yöntemiyle Oluşturulan Polivinil Butiral Nano Lifleri Üzerindeki Etkisi", *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 26-34.

- [67] İkiz, Y., (2009). "Elektro Çekim Yöntemi İşlem Parametrelerinin PVA Nanolif Morfolojisine Etkileri", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 363369.
- [68] Stijnman, A., Bodnar, I. ve Tromp, R., (2011). "Electrospinning of Food-grade Polysaccharides", Food Hydrocolloids, 25:1393-1398.
- [69] Rubinstein, M. ve Colby, R.H., (2003). Polymer Physics, Oxford Press, Oxford.
- [70] Bhardwaj, N. ve Kundu, S. C., (2010). "Electrospinning: a Fascinating Fiber Fabrication Technique", Biotechnology Advances, 28:325-347.
- [71] Okutan, N., (2013). Elektrodöndürme Yöntemiyle Elde Edilen Jelatin Nanoliflerinin Emülsiyonlarda Stabilize Edici Olarak Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [72] Cengiz, F., Jırsak, O. ve Dayık, M., (2009). "Ortam Rutubetinin Silindirik Elektro Lif Çekim Yöntemi ile Nano Lif Üretimi Üzerine Etkilerinin İncelenmesi", Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, 21-32.
- [73] Nagavarma, B. V. N., Hemant, K.S., Ayaz, A., Vasudha L.S. ve Shivakumar, H.G., (2012). "Different Techniques for Preparation of Polymeric Nanoparticles", Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research, 5:16-23.
- [74] Badıllı, U. ve Tarımcı, N., (2009). "Elektropüskürtme Yöntemi ve Nanoteknolojideki Uygulamaları", Ankara Eczacılık Fakültesi Dergisi, 38(2):117-135.
- [75] Mottaghitab, V. ve Haghi, A. K. (2012). Carbon/Chitosan Nanocomposites. In: Development of Nanotechnology in Textiles, Birinci baskı, Nova Science Pub., Inc., New York.
- [76] Hosseini, S. F., Rezaei, M., Zandi, M., ve Ghavi, F. F., (2013). "Preparation and Functional Properties of Fish Gelatin-Chitosan Blend Edible Films", Food Chemistry, 136:1490-1495.
- [77] Bhattarai, N., Li, Z., Edmondson, D., ve Zhang, M., (2006). "Alginate-Based Nanofibrous Scaffolds: Structural, Mechanical, and Biological Properties", Advanced Materials, 18:1463-1467.
- [78] Mori, C., Passos, N., Oliveira, J., Mattoso, L., Mori, F., Carvalho, A., Fonseca, A., ve Tonoli, G., (2014). "Electrospinning of Zein/tannin Bio-nanofibers", Industrial Crops and Products, 52:298-304.
- [79] Nieuwland, N., Geerdink, P., Brier, P., Eijnden, P., Henket, J., Langelaan, M., Stroeks, N., Deventer, H. ve Martin, A., (2014). "Reprint of Food-Grade Electrospinning of Proteins", Innovative Food Science and Emerging Technologies, 24:138-144.
- [80] Fernandez, A., Torres-Giner, S. ve Lagaron, J., (2009). "Novel Route to Stabilization of Bioactive Antioxidants by Encapsulation in Electrospun Fibers of Zein Prolamine", Food Hydrocolloids, 23:1427-1432

- [81] Miyoshi, T., Toyohara, K. ve Minematsu, H., (2005). "Preparation of Ultrafine Fibrous Zein Membranes via Electrospinning", *Polymer International*, 54:1187–1190.
- [82] Ozkan, G. ve Bilek, S., (2013). "Microencapsulation of Natural Food Colourants", *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 3(3): 145-156.
- [83] Gómez-Mascaraque, L., Lagarón, J. ve López-Rubio, A., (2015). "Electrosprayed Gelatin Submicroparticles as Edible Carriers for the Encapsulation of Polyphenols of Interest in Functional Foods", *Food Hydrocolloids*, 49:42-52.
- [84] Songchotikunpan, P., Tattiyakul, J., ve Supaphol, P. (2008). "Extraction and Electrospinning of Gelatin from Fish Skin", *International Journal of Biological Macromolecules*, 42:247-255.
- [85] Pérez-Masiá, R., Lagaron, J. ve López-Rubio, A., (2014). "Surfactant-aided Electrospinning of Low Molecular Weight Carbohydrate Polymers from Aqueous Solutions", *Carbohydrate Polymers*, 101:249– 255.
- [86] Soares, R., Patzer, V., Dersch, R., Wendorff, J., Silveria, N. ve Pranke, P., (2011). "A Novel Globular Protein Electrospun Fiber Mat with the Addition of Polysilsesquioxane", *International Journal of Biological Macromolecules*, 49:480-486.
- [87] Joye, I., Nelis, V. ve McClements, D., (2015). "Gliadin-based Nanoparticles: Fabrications and Stability of Food-grade Colloidal Delivery Systems", *Food Hydrocolloids*, 44:86-93.
- [88] Khare, A. ve Vasisht, N., (2014). *Microencapsulation in the Food Industry*, Chapter 14, USA.
- [89] Zaidel, D., Sahat, N., Jusoh, Y. ve Muhamad, I., (2014). "Encapsulation of Anthocyanin from Roselle and Red Cabbage for Stabilization of Water-in-Oil Emulsion", *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2:82-89.
- [90] Anu Bhushani, J. ve Anandharamakrishnan, C., (2014). "Electrospinning and Electrospinning Techniques: Potential Food Based Applications", *Trends in Food Science and Technology* 38:21-33.
- [91] Coronel-Aguilera, C. ve Martín-González, M., (2014). "Encapsulation of Spray Dried β -carotene Emulsion by Fluidized Bed Coating Technology", *LWT-Food Science and Technology*, 62:187-193.
- [92] Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A. ve Saurel, R., (2007). "Applications of Spray drying in Microencapsulation of Food Ingredients: an overview", *Food Research International* 40(9):1107–1121.
- [93] Chen, M.J. ve Chen, K.N., (2007). "Applications of Probiotic Encapsulation in Dairy Products. In: Lakkis, Jamileh M. (Ed.), *Encapsulation and Controlled Release Technologies in Food Systems*, Wiley- Blackwell, USA.

- [94] De Vos, P., Faas, M.M., Spasojevic, M. ve Sikkema, J., (2010). "Encapsulation for Preservation of Functionality and Targeted Delivery of Bioactive Food Components", *International Dairy Journal*, 20(4):292–302.
- [95] Kailasapathy, K., (2009). "Encapsulation Technologies for Functional Foods and Nutraceutical Product Development", *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 4 (33).
- [96] Wang, S., Zhang, M., Tang, J. ve Mujumdar, A.S., (2006). "Trends in Microwave-related Drying of Fruits and Vegetables", *Trends in Food Science and Technology*, 17(10):524–534.
- [97] Heinzelmann, K., Franke, K., Jensen, B. ve Haahr, A., (2000). "Protection of Fish Oil from Oxidation by Microencapsulation Using Freeze-drying Techniques", *European Journal of Lipid Science and Technology*, 102(2):114–121.
- [98] Gouin, S., (2004). "Microencapsulation: Industrial Appraisal of Existing Technologies and Trends, *Trends in Food Science and Technology*, 15(7–8):330–347.
- [99] Teschke, O. ve Souza, F., (2002). "Liposome Structure by AFM: Verification of Improved Liposome Stability During Adsorption of Multiple Aggregated Vesicles", *Langmuir*, 18(17):6513–6520.
- [100] Jafari, S.M., Assadpoor, E., He, Y. ve Bhandari, B., (2008). "Encapsulation Efficiency of Food Flavours and Oils During Drying", *Drying Technology*, 26(7):816–835.
- [101] Kim S., Cho S.Y., Kim S.H., Song O., Shin S., Cha D.S. ve Park H.J., (2008). "Effect of Microencapsulation on Viability and Other Characteristics in *Lactobacillus acidophilus* ATCC- 43121", *LWT-Food Science Technology*, 41(3):493–500.
- [102] Dursun, S., Erkan, N. ve Yeşiltaş, M., (2010). "Doğal Biyopolimer Bazlı (Biyobozonur) Nanokompozit Filmler ve Su Ürünlerindeki Uygulamaları", 4(1):50—77.
- [103] López-Rubio, A., Sanchez, E., Wilkanowicz, S., Sanz, Y. ve Lagaron, C., (2012). "Electrospinning as a Useful Technique for the Encapsulation of Living Bifidobacteria in Food Hydrocolloids", *Food Hydrocolloids*, 28:159-167.
- [104] Ghorani, B. ve Tucker, N., (2015). "Fundamentals of Electrospinning as a Novel Delivery Vehicle for Bioactive Compounds in Food Nanotechnology", *Food Hydrocolloids*, 51:227-240.
- [105] Nuansing, W., (2014). *Electrospinning of Biomolecules*, PhD Thesis, Univesidad del Pais Vasco, Departamento de Fisica de Materiales, Spain.
- [106] Estaca, J.G., Balaguer, M.P., Gavara, R. ve Munoz, P.H., (2012). "Formation of Zein Nanoparticles by Electrohydrodynamic Atomization: Effect of the Main Processing Variables and Suitability for Encapsulating the Food Coloring and Active Ingredient Curcumin", *Food Hydrocolloids*, 28: 82-91.

- [107] Gu, L., Wang, M. ve Zhou, J., (2013). "Effects of Protein Interactions on Properties and Microstructure of Zein-Gliadin Composite Films", *Journal of Food Engineering*, 119:288-298.
- [108] Kolev, T. M., Velcheva, E. A., Stamboliyska, B. A., Spiteller, M., (2005). "DFT and Experimental Studies of the Structure and Vibrational Spectra of Curcumin", *International Journal of Quantum Chemistry*, 102:1069–1079.
- [109] Hu, K., Huang, X., Gao, Y., Huang, X., Xiao, H. ve McClements, D.J., (2015). "Core-shell Biopolymer Nanoparticle Delivery Systems: Synthesis and Characterization of Curcumin Fortified Zein-Pectin Nanoparticles", *Food Chemistry*, 182:275–281.
- [110] Mangolim, C. S., Moriwaki, C., Nogueira, A. C., Sato, F., Baesso, M. L. ve Neto, A. M., (2014). "Curcumin-beta-cyclodextrin Inclusion Complex: Stability, Solubility, Characterisation by FT-IR, FT-Raman, X-ray Diffraction and Photoacoustic Spectroscopy, and Food Application", *Food Chemistry*, 153, 361–370.
- [111] Mohan, P. R. K., Sreelakshmi, G., Muraleedharan, C. V. ve Joseph, R., (2012). "Water Soluble Complexes of Curcumin with Cyclodextrins: Characterization by FT-Raman spectroscopy", *Vib. Spectrosc.*, 62:77–84.
- [112] Ducel, V., Richard, J., Saulniera, P., Popineau, Y. ve Boury, F., (2004). "Evidence and Characterization of Complex Coacervates Containing Plant Proteins: Application to the Microencapsulation of Oil Droplets", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects* 232:239–247.
- [113] Duclairoir, C., , Orecchioni, A.M., , Depraetere, P., Osterstock, F. ve Nakachea, E., (2003). "Evaluation of Gliadins Nanoparticles as Drug Delivery Systems: a Study of Three Different Drugs", *International Journal of Pharmaceutics*, 253:133–144.
- [114] Ding, L., Lee, T. ve Wang, C.H., (2005). "Fabrication of Monodispersed Taxol-Loaded Particles Using Electrohydrodynamic Atomization", *Journal of Controlled Release*, 102(2):395-413.
- [115] Xie, J.W., Marijnissen, J.C.M. ve Wang, C.H., (2006). "Microparticles Developed by Electrohydrodynamic Atomization for the Local Delivery of Anticancer Drug to Treat C6 glioma in vitro", *Biomaterials*, 27(17):3321-3332.
- [116] Xu, Y.X. ve Hanna, M.A., (2006). "Electrospray Encapsulation of Water Soluble Protein with Polylactide- Effects of Formulations on Morphology , Encapsulation Efficiency and Release Profile of Particles", *International Journal of Pharmaceutics*, 320(1-2): 30-36.
- [117] Cui, W., Li, X., Zhu, X., Yu, G., Zhou, S. ve Weng, J., (2006). "Investigation of Drug Release and Matrix Degradation of Electrospun Poly(DL-lactide) Fibers with Paracetamol Inoculation", *Biomacromolecules*, 7:1623-1629.
- [118] Dinarvand R., Mahmoodi S., Farboud E., Salehi M. ve Atyabi F., (2005). "Preparation of Gelatin Microspheres Containing Lactic acid-Effect of Crosslinking on Drug Release", *Acta Pharm.* 55:57–67.

- [119] Priyadarsini, K. I., Maity, D. K., Naik, G. H., Kumar, M. S., Unnikrishnan, M. K., Satav, J. G. ve Mohan, H. (2003). "Role of Phenolic O-H and Methylene hydrogen on the Free Radical Reactions and Antioxidant Activity of Curcumin", *Free Radical Biol. Med.*, 35:475–484.
- [120] Venkatesan, P. ve Rao, M. N., (2000). "Structure-activity Relationships for the Inhibition of Lipid Peroxidation and the Scavenging of Free Radicals by Synthetic Symmetrical Curcumin Analogues", *J. Pharm. Pharmacol.*, 52:1123–1128.
- [121] Suwantong, O., Opanosopit, P., Ruktanonchai, U. ve Supaphol, P., (2007). "Electrospun Cellulose Acetate Fiber Mats Containing Curcumin and Release Characteristics of the Herbal Substance", *Polymer*, 48:7546-7557.
- [122] Chen, H., Muramoto, K., Yamauchi, F., Fujimoto, K. ve Nokihara, K., (1998). "Antioxidative Properties of Histidine-Containing Peptides Designed from Peptide Fragments Found in the Digests of a Soybean Protein", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46:49–53.
- [123] Hernandez-Ledesma, B., Amigo, L., Recio, I. ve Bartolome, B., (2007). "ACE-inhibitory and Radical-scavenging Activity of Peptides Derived from beta-Lactoglobulin f(19-25). Interactions with ascorbic acid", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55:3329–97.
- [124] Pena-Ramos, E. A., Xiong, Y. ve Arteaga, G. E., (2004). "Fractionation and Characterisation for Antioxidant Activity of Hydrolysed Whey Protein", *J. Sci. Food Agric.*, 84:1908–18.
- [125] Ramalingam, N., Natarajan, T.S. ve Rajiv, S., (2014). "Preparation and Characterization of Electrospun Curcumin Loaded Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) Nanofiber—A Biomaterial for Multidrug Resistant Organisms", *J Biomed Mater Res Part A*, 103A:16–24.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Perihan Kübra ÇİÇEK
Doğum Tarihi ve Yeri : 25.08.1989
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : pkubracicek@yahoo.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Gıda Müh.	Selçuk Üniversitesi	2013
Lise	Fen Bilimleri	Muhittin Güzelkılınç YDA Lisesi	2007

YAYINLARI

Bildiri

1. Cicek, P. K., Bozkurt, F., Vardar, U., Dertli, E., Yilmaz, M. T. ve Kara, H., (2015). “Bayburt’un Değişik Bölgelerinden Elde Edilen Balların Renk ve Elektriksel İletkenlik Özelliklerinin Değerlendirilmesi”, 1. Uluslararası Kovandan Sofraya Arı Ürünleri Kongresi, 21-22 Mayıs 2015, İstanbul.
2. Yilmaz, A., Bozkurt, F., Cicek, P. K., Dertli, E., Durak, M. Z. Ve Yilmaz, M. T., (2015). “Kurkumin Yuklu Zein Lifi ile Yuzeyleleri Kaplanan Elmalarda Antifungal Aktivitenin İncelenmesi”, 18. Ulusal Biyoteknoloji Kongresi, 18-18 Aralık, 2015, Konya.
3. Yilmaz, M. T., Bozkurt, F. Ve Cicek, P. K., (2015). “Elektrodondurma Teknigi ile Uretilen Gliadin Nanoliflerinden Kurkumin Salinimi”, 18. Ulusal Biyoteknoloji Kongresi, 18-19 Aralık, 2015, Konya.
4. Bozkurt, F., Yilmaz, M. T., Cicek, P. K. ve Sagdic, O., (2016). “Antibacterial Activity of Curcumin Loaded Gliadin Nanofiber Mats Fabricated by Electrospinning Technique”, 12th Nanoscience and Nanotechnology Conference, 3-5 June, 2016, Gebze. **(Sözlü bildiri olarak kabul edildi)**