

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BİYOAKTİF MADDE VE BAKTERİYOSİN YÜKLÜ NANOLİFLERİN
GÖKKUŞAĞI ALABALIĞININ (*Oncorhynchus mykiss*) BAZI KALİTE
PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Aslıhan ALAV
DANIŞMAN: Dr. Öğretim Üyesi Raciye MERAL
İKİNCİ DANIŞMAN: Dr. Öğretim Üyesi Zafer CEYLAN

VAN-2019

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BİYOAKTİF MADDE VE BAKTERİYOSİN YÜKLÜ NANOLİFLERİN
GÖKKUŞAĞI ALABALIĞININ (*Oncorhynchus mykiss*) BAZI KALİTE
PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Aslıhan ALAV

Bu çalışma YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından FYL-2018-7570 No'lu proje olarak desteklenmiştir.

VAN-2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Dr. Öğretim Üyesi Raciye MERAL danışmanlığında, Aslıhan ALAV tarafından sunulan "**Biyoaktif Madde ve Bakteriyosin Yüklü Nanoliflerin Gökkuşluğu Alabalığının (*Oncorhynchus mykiss*) Bazı Kalite Parametreleri Üzerine Etkisi**" isimli bu çalışma Lisans Üstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 13/09/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile başarılı bulunmuş ve yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Doç. Dr. Ayşe GÜREL İNANLI

İmza:

Üye: Doç. Dr. Enes DERTLİ

İmza:

Üye: Doç. Dr. Gökhan BORAN

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Zafer CEYLAN

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Raciye MERAL

İmza:

Fen Bilimleri Enstitü Yönetim Kurulu'nun 20.09/2019 tarih ve 2019/52-İ... sayılı kararı ile onaylanmıştır.



TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yaptığımı bildiririm.

İmza

Aslıhan ALAV

ÖZET

BİYOAKTİF MADDE VE BAKTERİYOSİN YÜKLÜ NANOLİFLERİN GÖKKUŞAĞI ALABALIĞININ (*Oncorhynchus mykiss*) BAZI KALİTE PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİSİ

ALAV, Aslıhan

Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Raciye MERAL

İkinci Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Zafer CEYLAN

Eylül 2019, 84 sayfa

Bu çalışmada, doğal bir antimikrobiyal bakteriyosin olan nisin ve doğal bir biyoaktif madde olan kurkumin, elektrodöndürme yöntemi ile polivinil alkol tabanlı liflere yüklenmiş ve ortalama çapı 172 nm olan nisin-kurkumin yüklü (NK) nanolifler üretilmiştir. Üretilen nanoliflerin ATR-FTIR spektroskopisi ile moleküler karakterizasyonu yapılmıştır. Daha sonra gökkuşağı alabalık filetosu nanoliflerle kaplanmış ve kaplanan örnekler 12 gün boyunca $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de muhafaza edilmiştir. NK nanoliflerinin balık filetolarındaki toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB), toplam laktik asit bakteri (TLAB) ve toplam maya-küf (TMK) sayısı üzerine etkisi muhafaza süresince test edilmiştir. Muhafazanın 4. gününde kontrol (K) grubunun TMAB yükünün 6.61 log kob/g, NK nanolifleri ile kaplı grubun 3.28 log kob/g olduğu bulunmuştur. K grubunun TMAB yükü, depolamanın 4. gününde 6 log kob/g'ın üzerine çıkarken, nanoliflerle kaplı balık numunelerinin TMAB yükü 12. muhafaza gününde 6 log kob/g'a ancak ulaşmıştır. Analiz süresince nisin ve kurkumin yüklü nanolifler ile TLAB sayısında kontrol grubuna göre 3-4 logaritmik bir azalma belirlenmiştir. K grubunun tüm duyuşal özellikleri muhafazanın 4. gününe kadar kabul edilebilir bulunurken, NK grubunun duyuşal özellikleri muhafazanın 12. gününe kadar kabul edilebilir bulunmuştur. Muhafaza sürecinde K grubunun renk değerlerindeki (L^* , a^* , b^*) artış NK grubuna göre daha yüksek bulunmuş ve nanoliflerin renk parametrelerini daha iyi koruduğu belirlenmiştir. Bu çalışma, nisin ve kurkumin yüklü nanoliflerin balık filetolarının kalitesini artırmak için etkili bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler: Bakteriyosin, Elektrodöndürme, Gökkuşağı alabalığı, Kurkumin, Nanolif, Nisin.

ABSTRACT

THE EFFECT OF BIOACTIVE MATERIAL AND BACTERIOCIN LOADED NANOFIBERS ON SOME QUALITY PARAMETERS OF RAINBOW TROUT (*Oncorhynchus mykiss*)

ALAV, Aslıhan

M.Sc. Thesis, Department of Food Engineering

Supervisor I: Assist. Prof. Dr. Raciye MERAL

Supervisor II: Assist. Prof. Dr. Zafer CEYLAN

September 2019, 84 pages

In this study, nisin, a natural antimicrobial bacteriocin, and curcumin, a natural bioactive substance, were loaded to polyvinyl alcohol-based nanofibers by electrospinning technique and nisin-curcumin loaded (NK) nanofibers with an average diameter of 172 nm were produced. Molecular characterization of the produced nanofibers was performed by ATR-FTIR spectroscopy. The rainbow trout fillets were then coated with nanofibers and the coated samples were stored at $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ for 12 days. The effect of NK nanofibers was tested to limit the total number of mesophilic aerobic bacteria (TMAB), total lactic acid bacteria (TLAB) and total yeast-mold (TMK) in fish fillets during the preservation period. On the 4th day of the storage, the TMAB load of the control (K) group was 6.61 log cfu/g and the group coated with NK nanofibers was 3.28 log cfu/g. The TMAB load of the K group increased above 6 log cfu/g on the 4th day of the cold storage, while the TMAB load of NK group reached 6 log cfu/g on the 12th day of storage. During the analysis, a 3-4 logarithmic limitation of TLAB was determined with nisin and curcumin loaded nanofibers. All sensory characteristics of the K group were acceptable up to the 4th day of the case, while the sensory characteristics of the NK group were acceptable up to the 12th day of the case. The increase in color values (L^* , a^* , b^*) of the K group was found to be higher than the NK group and it was determined that nanofibers preserved the color parameters of samples. This study demonstrated that nanofibers loaded with nisin and curcumin can be used effectively to improve the quality of fish fillets.

Keywords: Bacteriocin, Curcumin, Electrospinning, Nanofiber, Nisin, Rainbow trout.



ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasının hazırlanması için, bana her zaman destek olan tavsiyeleri ve deneyimleri ile yol gösteren değerli tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Raciye MERAL'e ve ikinci tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Zafer CEYLAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bu çalışmayı FYL-2018-7570 No'lu proje olarak destekleyen; Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı'na; nanoliflerin üretilmesi ve karakterizasyonunda yardımını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Mustafa Tahsin YILMAZ, Sayın Doç. Dr. Enes DERTLi ve Canan Yağmur KARAKAŞ'a; gerekli analizlerde değerli yardımlarını gördüğüm Sayın Dr. Öğr. Üyesi Yağmur ERİM KÖSE ve Burcu ÖNER'e teşekkürlerimi sunarım. Okul hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, daima yanımda olan babam Kemal ALAV, annem Perihan ALAV ve ablam Dr. Öğr. Üyesi Özlem ÇEVİK'e teşekkür ederim.

2019

Aslıhan ALAV



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖN SÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	7
2.1. Kurkumin	7
2.2. Bakteriyosin	9
2.2.1. Nisin.....	9
2.2.2. Nisinin antimikrobiyal etkinliği.....	10
2.3. Enkapsülasyon	13
2.4. Nanoteknoloji ve Nanolif.....	13
2.5. Elektrodöndürme Yöntemi	14
2.5.1. Elektrodöndürme yönteminin tarihçesi.....	14
2.5.2. Elektrodöndürme yöntemi ile nanolif üretimi	15
2.5.3. Elektrodöndürme yöntemine etki eden parametreler.....	17
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	23
3.1. Materyal	23
3.2. Yöntem.....	23
3.2.1. Elektrodöndürme yöntemi ile nanolif üretimi	23
3.2.2. Nanoliflerin karakterizasyonu	26
3.2.3. Gökkuşuğu alabalık filetoalarının nanoliflerle kaplanması ve kalite özelliklerinin belirlenmesi.....	28
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	37
4.1. Elektrodöndürme Yönteminin Parametrelerinin Belirlenmesi Bulguları	37

4.2. Nanoliflerin Karakterizasyonu.....	38
4.2.1. Nisin-kurkumin yüklü nanoliflerin elektron mikroskobu görüntüleri (SEM) bulguları.....	38
4.2.2. Nisin-kurkumin yüklü nanoliflerin termal karakterizasyon bulguları	40
4.2.3. Nisin-kurkumin yüklü nanoliflerin moleküler karakterizasyon (ATR-FTIR) bulguları	42
4.2.4. Nisin-kurkumin yüklü nanoliflerin zeta potansiyel (ZP) analiz bulguları	43
4.3. Gökkuşuğu Alabalık Filetolarının Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi	44
4.3.1. Toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayımı bulguları	44
4.3.2. Toplam laktik asit bakteri (TLAB) sayımı bulguları	47
4.3.3. Toplam maya-küf (TMK) sayımı bulguları	50
4.3.4. Duyusal analiz bulguları	53
4.3.5. Renk analizi bulguları	61
4.3.6. Sertlik analizi bulguları.....	64
4.3.7. Tiyobarbitürik asit sayısı (TBA) bulguları	66
5. SONUÇ.....	71
KAYNAKLAR.....	73
ÖZ GEÇMİŞ.....	85

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Duyusal değerlendirme formu.....	32
Çizelge 4.1. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayısında meydana gelen istatistiksel değişimler (log kob/g).....	44
Çizelge 4.2. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde toplam laktik asit bakteri (TLAB) sayısında meydana gelen istatistiksel değişimler (log kob/g).....	48
Çizelge 4.3. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde toplam maya-küf (TMK) sayısında meydana gelen istatistiksel değişimler (log kob/g).....	51
Çizelge 4.4. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde duyusal analiz koku skorunda meydana gelen istatistiksel değişimler	54
Çizelge 4.5. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde duyusal analiz renk skorunda meydana gelen istatistiksel değişimler	56
Çizelge 4.6. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde duyusal analiz doku skorunda meydana gelen istatistiksel değişimler	57
Çizelge 4.7. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde duyusal analiz genel değerlendirme skorunda meydana gelen istatistiksel değişimler	58
Çizelge 4.8. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde L^* , a^* , b^* değerlerinde meydana gelen istatistiksel değişimler.....	62
Çizelge 4.9. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde sertlik değerinde meydana gelen istatistiksel değişimler (N)	64
Çizelge 4.10. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde tiyobarbitürik asit sayısında (TBA) meydana gelen istatistiksel değişimler (mg MDA/kg).....	67

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Zerdeçal bitkisi.....	7
Şekil 2.2. Kurkuminin kimyasal yapısı.	8
Şekil 2.3. Nisinin primer yapısı.....	10
Şekil 2.4. Elektrodöndürme yöntemiyle nanolif üretiminin şematik gösterimi	15
Şekil 2.5. Taylor konisi ve jet oluşumu, a-110°, b-107°, c-104°, d-100°	16
Şekil 3.1. Elektrodöndürme cihazında nanolif üretimi.....	25
Şekil 3.2. Nanolif üretim aşamaları	25
Şekil 3.3. Nanoliflerle gökkuşağı alabalık filetoalarının kaplanması ve stabiliteye etkisinin incelenmesi	26
Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan gökkuşağı alabalığı.....	28
Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan PVA tabanlı nisin-kurkumin yüklü nanolifler.....	29
Şekil 3.6. Gökkuşağı alabalık filetosunun PVA tabanlı nisin-kurkumin nanolifleri ile kaplanması.....	30
Şekil 3.7. Nanoliflerin üretimi, karakterizasyonu, balık filetoalarının kaplanması ve kalite özelliklerinin belirlenmesinin şematik gösterimi	30
Şekil 3.8. Gökkuşağı alabalık filetoalarında renk ölçümü	33
Şekil 3.9. Gökkuşağı alabalık filetoalarında sertlik analizi.....	34
Şekil 4.1. PVA tabalı nisin-kurkumin yüklü nanoliflerin SEM görüntüleri.....	40
Şekil 4.2. PVA tabalı nisin-kurkumin yüklü nanoliflerin DSC grafiği	41
Şekil 4.3. PVA tabanlı nisin-kurkumin yüklü nanoliflerin ATR-FTIR spektrumu.....	43
Şekil 4.4. Gruplar arasında soğuk muhafaza (4±2°C) günlerinde toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayısında meydana gelen değişimler (log kob/g).....	47
Şekil 4.5. Gruplar arasında soğuk muhafaza (4±2°C) günlerinde toplam laktik asit bakteri (TLAB) sayısında meydana gelen değişimler (log kob/g).....	50

Şekil	Sayfa
Şekil 4.6. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde toplam maya-küf (TMK) sayısında meydana gelen değişimler (log kob/g).....	51
Şekil 4.7. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde duyuşal analiz koku skorunda meydana gelen değişimler.	55
Şekil 4.8. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde duyuşal analiz renk skorunda meydana gelen değişimler.	57
Şekil 4.9. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde duyuşal analiz doku skorunda meydana gelen değişimler.	58
Şekil 4.10. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde duyuşal analiz genel değerlendirme skorunda meydana gelen değişimler.....	61
Şekil 4.11. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde sertlik (N) değerinde meydana gelen değişimler.	66
Şekil 4.12. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde tiyobarbitürük asit sayısında (TBA) meydana gelen değişimler.	70

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada sunulmuş bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
a*	Kırmızı-yeşil renk boyutu
b*	Sarı-mavi renk boyutu
dk	Dakika
kDa	Kilodalton
kob/g	Koloni oluşturan birim/Gram
kV	Kilovolt
L*	Siyah-beyaz renk oluşumu
log	Logaritma
mg MDA/kg	Miligram Malondialdehit/Kilogram
mm/s	Milimetre/Saniye
mV	Milivolt
nm	Nanometre
N	Newton
w/v	Ağırlık/Hacim
Kısaltmalar	Açıklama
ATR-FTIR	Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi
EDTA	Etilendiamin tetraasetik asit
DRBC	Dicloran Rose Bangal agar
DSC	Diferansiyel taramalı kalorimetre
GRAS	Genel Olarak Güvenli Kabul Edilebilir Ürün
K	Kontrol

Kısaltmalar

Açıklama

LAB

Laktik asit bakterileri

MRS

Man-Rogosa-Sharpe

NK

Nisin-kurkumin yüklü nanolif

PCA

Plate-Count agar

PVA

Polivinil alkol

SEM

Taramalı elektron mikroskobu

TBA

Tiyobarbitürik asit

TLAB

Toplam laktik asit bakterisi

TMAB

Toplam mezofilik aerobik bakterisi

TMK

Toplam maya-küf

ZP

Zeta potansiyel

WHO

Dünya Sağlık Örgütü

1. GİRİŞ

Su ürünleri, günümüzde tüketilen proteinli gıdaların önemli bir grubunu oluşturur. Yapılan çalışmalar protein dışında balık ve su ürünlerinde önemli miktarda doymamış yağ asidi, vitamin ve mineral madde bulunduğunu ve bu ürünlerin beslenme değerinin yüksek olduğunu göstermiştir. Yüksek besin değerine sahip olan bu ürünler mikrobiyal bozulmaya karşı çok duyarlıdır. Kırmızı etlerde olduğu gibi balık ve diğer su ürünlerinde de otolitik, oksidatif ve bakteriyel aktivite sonucu çeşitli bozulmalar meydana gelir. Su ürünlerinin bozulması genel olarak mikrobiyal kaynaklı olmaktadır. Mikrobiyal bozulma balık etinde kötü koku ve lezzet oluşmasına neden olabilmektedir. Mikrobiyal bozulmayla balığın fiziksel özelliklerinde de değişim meydana gelmektedir. Mikrobiyolojik aktivitenin yanı sıra enzim aktivitesi, kasların otolizi, proteinlerin yıkıma uğraması ve fonksiyonelliklerini kaybetmesi gibi nedenlerden dolayı su ürünlerinin kalitesi olumsuz etkilenmektedir. Bu nedenle balık, avlandığı andan itibaren hızlı ve uygun bir işleme tekniği ile muhafaza edilmelidir. Su ürünlerinin tüketimine kadar kaliteli bir şekilde muhafaza edilebilmesi için farklı işleme teknikleri geliştirilmiştir (Imura ve Okada, 1998; Ghaly ve ark., 2010; Duman ve ark., 2011; Kılıç, 2016; Özpolat, 2019).

Su ürünlerinin muhafazasında soğuk muhafaza, dondurarak muhafaza, tuzlama teknolojisi, kurutma teknolojisi, farklı paketlenme yöntemleri, gıda katkı maddeleri, dumanlama teknolojisi ve ışınlama teknolojisi gibi teknolojik işlemler yaygın olarak kullanılmaktadır (Göğüş ve Kolsarıcı, 1992; Gökoğlu, 2004; Souza ve ark., 2010). Günümüzde bu tekniklere ilaveten nanoteknoloji yoluyla elde edilmiş nanolifler, nanopartiküller ve nanoemülsiyonlar da su ürünlerinin muhafazası için denenmeye başlamıştır. Ticari alanda henüz uygulaması olmasa da bu teknoloji kullanılarak üretilen nanomateryallerin, su ürünlerinin muhafazasında kullanımıyla ilgili bilimsel çalışmalar mevcuttur (Ceylan ve ark., 2017a; Özoğul ve ark., 2017; Ceylan ve ark., 2018a; Ceylan ve ark., 2018b; Meral ve ark., 2019).

Enkapsülasyon; tıp, eczacılık, biyoloji ve gıda alanında yaygın bir şekilde uzun yıllardır kullanılmaktadır. Enkapsüle edilen maddelerin gıda üretimi aşamasında fiziksel, kimyasal ve enzimatik olarak parçalanması önlenerek daha iyi korunmaları

sağlanır. Enkapsülasyon ile kapsüllerin eldesinde farklı yöntemler kullanılabilir. Bu yöntemler arasında püskürterek kurutma, dondurma, lipozom ile kaplama, ekstrüzyon ile kaplama, koazervasyon, emülsifikasyon ve elektrodöndürme tekniği vardır. Elektrodöndürme yöntemi, biyoaktif maddelerin farklı polimerlere mikro veya nanoboyutta ve farklı morfolojik yapılarda enkapsüle edilebilmesi açısından diğer yöntemlerden daha avantajlıdır (Desai ve Park, 2005; Anal ve Singh, 2007; Champagne ve Fustier, 2007; İkiz, 2009; Yen ve ark., 2010; Burgain ve ark., 2011; Onwulata, 2012).

Elektrodöndürme yöntemi, bir polimer çözeltisi ile doldurulmuş şırınga ile şırınga düzeneğinden sabit bir uzaklıkta bulunan bir toplayıcı plaka arasında yüksek gerilim vasıtasıyla bir elektrik alan oluşturulması işlemi içermektedir. Bu elektrik alan nedeniyle şırıngadan toplayıcı plakaya enjekte edilen çözeltinin yüzeyinde elektrik yükü oluşmaktadır. Elektrostatik itme yüzey geriliminden daha yüksek olduğunda, polimer çözeltisini içeren şırınganın ucundaki yarım küre yüzeyi uzar ve Taylor konisi olarak adlandırılan konik bir şekil oluşur. Bu kritik değerde, çözeltinin yüklü bir jeti Taylor konisinin ucundan çıkar. Çözücü jet yolu üzerinde buharlaşır ve yüklü polimer, lif veya parçacık şeklinde doğrudan toplayıcı plaka üzerinde birikir (Pakravan ve ark., 2011). Elektrodöndürme yöntemiyle elde edilen nanomateryeller; gıdaya uygunluk, nano boyut nedeniyle mikroorganizma hücresi içine daha iyi nüfuz etme, biyoaktif bileşenlerin dış etmenlerden korunması, genişletilmiş yüzey alanı gibi birçok avantaj sunmaktadır (Kayacı ve Uyar, 2012; Donsi ve ark., 2011; Anu-Bhushani ve Anandharamakrishnan, 2014).

Son zamanlarda, nanoboyutlu antimikrobiyal malzemeler, birim kütle başına çok yüksek bir yüzey alanına sahip olduklarından aktif gıda paketlenme ve kaplama uygulamalarında kullanılmaktadır (Kayacı ve Uyar 2012). Bu çalışmaların birinde, Ceylan ve ark. (2018a), sıvı duman ve timolü elektrodöndürme yoluyla elde edilen kitosan nanolifleri içine enkapsüle ederek, elde edilen sıvı duman ve timol yüklü nanolifler ile levrek filetolarını kaplamışlardır. Çalışma sonunda, buzdolabı koşullarında 7 gün muhafaza sonunda toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayısının kontrol grubu için; 7.3 log kob/g, sıvı duman ve timol yüklü nanoliflerle kaplanan grup için 4.5 log kob/g olduğu belirlenmiştir.

Ceylan ve ark. (2018b) tarafından yapılan başka bir çalışmada, *Lactobacillus rhamnosus* polivinil alkol (PVA) ve sodyum aljinat tabanlı nanoliflere yüklenmiş ve elde edilen nanoliflerin gökkuşağı alabalığının TMAB ve toplam psikrofilik bakteri (TPB) sayısı üzerine etkisi incelenmiştir. Nanoenkapsülasyon işlemi sonunda yapılan canlılık testi, nanolifler içine yüklenen toplam *Lactobacillus rhamnosus*'un % 83'ünün canlılığını koruduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca *Lactobacillus rhamnosus* yüklü nanoliflerin, TMAB ve TPB sayısını kaplanmamış örneklerle göre önemli oranda azalttığı tespit edilmiştir. Kontrol grubu örneklerde mikrobiyal bozulma, 5. soğuk muhafaza gününde meydana gelirken, *Lactobacillus rhamnosus* yüklü nanolifler ile kaplanan grupta bozulma 9. muhafaza gününde meydana gelmiştir.

Elektrodöndürme yöntemiyle elde edilen nanoliflerin gıdalarda mikrobiyal gelişme üzerine etkilerini belirleyen başka bir çalışma, Yılmaz ve ark. (2016) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada *Botrytis cinerea* ve *Penicillium expansum* ile enfekte edilen elmalar, kurkumin yüklü zein nanolifleri ile kaplanarak bu elmalarda çürümenin geciktirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda, *Penicillium expansum* ve *Botrytis cinerea*'nın neden olduğu hasat sonrası çürümenin nanolifler ile sınırlandığı ve kurkuminin antifungal etkinliğinin önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir.

Altan ve ark. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada kompozit lifli partüküller; farklı konsantrasyonlarda karvakrol, zein ve polilaktikasit (PLA) katılarak üretilmiştir. En iyi antioksidan kapasitesi zein yüklü liflerde elde edilmiş ve bu lifler ile tam buğday ekmeğinin raf ömrününün uzadığı belirlenmiştir.

Tatlısu ve ark. (2019), timol yüklü nanoliflerin kaşar peynirlerinin yüzeyinde bulunan *Aspergillus parasiticus*'un gelişimi üzerine etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla PVA ve peynir altı suyu proteini ile nanolifler elde edilmiş ve bu lifler içine timol aktif bileşen olarak yüklenmiştir. İn vitro antifungal aktivite testleri, timol yüklü nanoliflerin saf haldeki timolden daha yüksek antifungal etki sergilediğini göstermiştir.

Gıdalarda antimikrobiyal ajan olarak 40'tan fazla ülkede kullanılan nisin, bazı *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* suşları tarafından üretilen katyonik bir polipeptittir. *Listeria* ve *Staphylococcus* gibi Gram (+) bakterilere ve *Bacillus* ve *Clostridium* sporlarına karşı etkili bir maddedir. Nisin, diğer kimyasal koruyuculardan farklı olarak, Dünya Sağlık Örgütü tarafından "Genel Olarak Güvenli" (GRAS) kabul edilmektedir.

Süt ürünlerinde, konserve gıdalarda, sebzelerde, etlerde, işlenmiş peynirlerde ve diğer gıdalarda gıda koruyucu olarak güvenli kullanım sağlamaktadır (Ceylan, 2014).

Gram (+) bakterilere etkili olmasına rağmen, nisin Gram (-) bakteriler ve maya-küflere karşı etkisinin düşük olduğu bilinmektedir. Nisin kullanımının dezavantajlarından birisi de, nisin enzimatik parçalanmaya ve pH değişimine duyarlı olması, yağ ve protein gibi diğer gıda bileşenleriyle interaksyonu sonucu antimikrobiyal etkinliğinin azalmasıdır. Bu nedenle yapılan çok sayıda çalışmada nisin, sitratlar, Twen 80, EDTA, NaCl gibi maddelerle birlikte kullanılarak ya da ışınlama gibi tekniklerle kombine edilerek antimikrobiyal etkinliğinin genişletilmesi sağlanmıştır (Hurst 1981; Delves-Broughton, 2005; Lubelski ve ark., 2008; Alanyalı, 2009; Da Silva Malheiros ve ark., 2010; Ceylan, 2014).

Kurkumin, *Curcuma longa*'nın kuru rizomlarından elde edilen doğal polifenolik biyoaktif bir bileşendir. Gıda endüstrisinde, özellikle gıda renklendirici ajan olarak yaygın bir şekilde kullanılır. Son çalışmalar, bu polifenolün hem antioksidan hem de antimikrobiyal özelliklere sahip olduğunu göstermiştir. Yüksek biyoaktif özellikleri olmasına rağmen, kurkuminin pratik uygulamaları genellikle suda düşük oranda çözünmesi, ışığa, enzimlere, ısıya, oksijene ve metal iyonlarına karşı duyarlılığı nedeni ile sınırlıdır. Bu problemlerin üstesinden gelmek için kurkumin; nanopartiküller, nanolifler ve nanolipozomlar gibi maddelerin geliştirilmesi için kullanılmaktadır (Shlar ve ark., 2015; Yılmaz ve ark., 2016).

Günümüzde nanoteknolojiyle elde edilen başarılı sonuçlar ve nanoskalada yapılan çalışmaların fiyat ve yüksek dayanıklılık gibi çok sayıda avantaj sağlaması, araştırmacıları nanoteknoloji alanında çalışmaya yönlendirmektedir. Elektrodöndürme tekniği kullanılarak yapılan çalışmalar günümüzde hız kazanmaya başlasada bu teknolojinin gıda ürünlerinde uygulanmasıyla ilgili çalışmalar hâlâ emekleme döneminde. Yapılan bu çalışma, antimikrobiyal özelliğe sahip olduğu bilinen ve fiyatı yüksek olan nisin ve suda çözünürlüğü düşük olduğundan dolayı birçok gıdada kullanımını sınırlı olan kurkuminin, et ürünlerinde yenilebilir bir kaplama olarak kullanılan biyo bozunur özelliğe sahip PVA tabanlı nanoliflere yüklenmesi için planlanmıştır. Bu amaçla, öncelikle PVA tabanlı nanoliflerin üretimi için elektrodöndürme yönteminin parametreleri belirlenmiş, elde edilen nanolifler karakterizasyon analizlerine tabii tutulmuştur. Nisin ve kurkumin yüklü PVA tabanlı

nanoliflerin istenen bir şekilde üretildiği belirlendikten sonra, bu nanoliflerin gerçek gıda sistemlerinde etkinliğini test etmek için gökkuşağı alabalığı filetoları, nisin ve kurkumin yüklü nanoliflerle kaplanmıştır. Buzdolabı koşullarında ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) muhafaza edilen balık filetolarının; mikrobiyal kalitesi, renk, duyuasal özellikleri, sertlik ve tiyobarbütirik asit (TBA) sayısı değerleri belirlenmiştir.



2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

2.1. Kurkumin

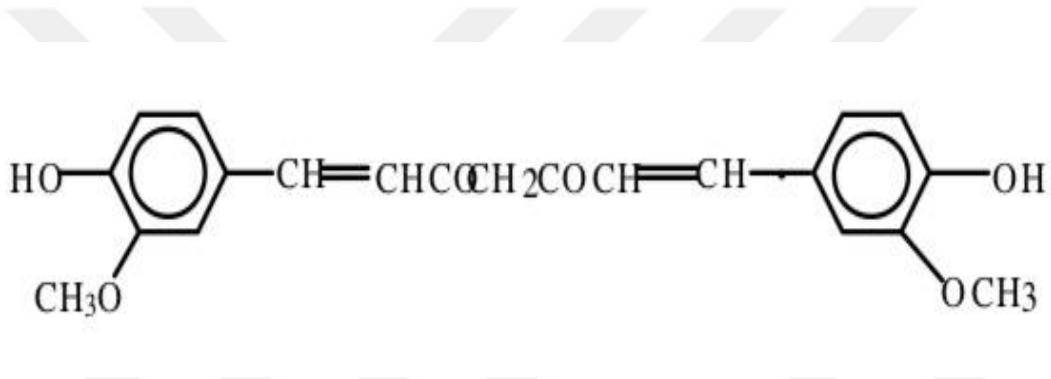
Zerdeçal, büyük yapraklı, sarı çiçekli ve rizomlu çok yıllık bir bitkidir (Şekil 2.1.). Zerdeçal bitkisinin yapısında % 5.1 yağ, % 69.4 karbonhidrat, % 6.3 protein, % 13.1 su ve % 3.5 mineral bulunmaktadır. Tumerik, zerdeçal veya latince ismi olan *Curcuma longa* bitkisine rengini veren asıl kısım Vogel tarafından (1842)'de izole edilerek kurkumin olarak isimlendirilmiştir (Araujo ve Leon, 2001; Hatcher ve ark., 2008; Akkaya, 2014).



Şekil 2.1. Zerdeçal bitkisi (Hatcher ve ark., 2008).

Kurkumin, *Curcuma longa* bitkisinden elde edilen doğal polifenolik biyoaktif bileşendir. Uzun zamandır, gıdalarda renklendirici madde olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Molekül ağırlığı 368.37 g/mol ve molekül formülü $C_{21}H_{20}O_6$ (Şekil

2.2.), erime noktası ise 183°C'dir. Kurkumin suda neredeyse hiç çözünmemekte fakat dimetilsülfoksit, metanol, etanol, asetonitril, etilasetat ve kloroform gibi çözücüler ile çözünebilmektedir. Antimikrobiyal, antifungal ve antioksidan özellikleri vardır. Kurkuminin suda çözünürlüğünün düşük olması, bağırsak sisteminde emiliminin az olması, nötral ve alkali pH'da parçalanması biyoyararlılığını düşürmektedir. Bu engelleri ortadan kaldırmak amacıyla kurkuminin nanoboyuta getirilmesi veya enkapsüle edilerek nanolif oluşturulması gibi çalışmalar yürütülmüştür (Negi ve ark., 1999; Delgado-Vargas ve Paredes-Lopez, 2002; Yen ve ark., 2010; Bansal ve ark., 2011; Vitaglione ve ark., 2012; Akkaya, 2014; Du ve ark., 2015; Kocaadam ve Şanlıer, 2015).



Şekil 2.2. Kurkuminin kimyasal yapısı (Araujo ve Leon, 2001).

Sun ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada, kurkumin ve siklodekstrin (CD) inklüzyon kompleksi ile yüklenen polivinil alkol (PVA) nanolifleri, elektrodöndürme işlemi ile elde etmişlerdir. Kurkuminin kimyasal yapısının, elektrodöndürme işlemi sırasında değişmediği bu çalışma sonunda belirlenmiştir.

Lian ve ark. (2014) yapmış oldukları çalışmada; kurkumini, elektrodöndürme yöntemi ile ipek fibroin (SF)/poli(L-laktik asit-ko-e-kaprolakton)(P(LLA-CL)) nanolif iskeletleri içerisine dahil etmişlerdir. Bu araştırmacılar, kurkumin yüklü nanoliflerin ilaç salınımı ve antioksidan-antimikrobiyal aktiviteler için in vitro salınım özelliklerini değerlendirmişlerdir. Sonuçlar kurkuminin, nanolifli yapılardan sürekli salınım gösterdiğini ve serbest radikal temizleme yeteneğini sürdürdüğünü göstermiştir.

Sampath ve ark. (2014), farklı oranlarda (78/22, 68/32 ve 61/39) ve farklı moleküler ağırlıkta (15.400, 11.000 ve 10.000 Da) kurkumin yüklü poli(dl-laktik-ko-

glikolik) asit (PLGA) kopolimerleri sentezlemişlerdir. Elektrodöndürme yöntemi ile kurkumin yüklü PLGA yapıları 100-300 nm boyutunda elde edilmiştir.

Yılmaz ve ark. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, elma örnekleri *Botrytis cinerea* ve *Penicillium expansum* ile enfekte edilmiş ve ardından kurkumin yüklü zein nanolifleri ile kaplanarak elmelerde çürümenin geciktirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda, hasat sonrası *Penicillium expansum* ve *Botrytis cinerea*'nın neden olduğu çürüme kurkumin yüklü nanoliflerle sınırlandırılmıştır.

2.2. Bakteriyosin

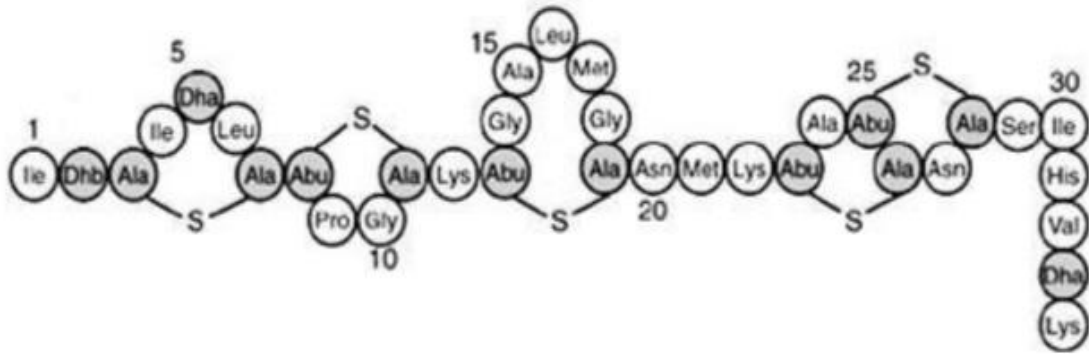
Bakteriyosinler, bazı Gram (-) ve Gram (+) bakteriler tarafından ribozomal olarak sentezlenerek ortama salgılanan ve genelde yakın türlerin inhibisyonunda etkili olan biyoaktif peptitlerin bir grubudur. Gıda muhafazasında kullanılan bakteriyosinler laktik asit bakterileri (LAB) tarafından üretilmektedir (Akkoç ve Akçelik, 2009; Erkmen, 2013).

Klaenhammer sınıflandırmasına göre Gram (+) bakteriler tarafından oluşturulan bakteriyosinler molekül büyüklüklerine, ısıl stabilitelere, etki mekanizmalarına, kimyasal yapılarına ve enzimatik hassasiyetlerine göre sınıflandırılırlar. Sınıf I bakteriyosinler ender rastlanan lantionin içermeleri nedeniyle lantibiyotikler olarak adlandırılırlar ve bu sınıfta bulunan en önemli bakteriyosin nisindir. Sınıf II bakteriyosinler lantionin içermeyen, düşük molekül ağırlığına sahip (<10 kDa), ısıya dayanıklı ve membran aktif peptitlerdir. Sınıf III bakteriyosinler ısıya hassas, yüksek molekül ağırlığına sahip (>30 kDa) proteinlerdir. Sınıf IV bakteriyosinler ise büyük ve karmaşık moleküllerdir. Proteine ilaveten şeker veya yağ grupları içeren yapılardır (Klaenhammer, 1993).

2.2.1. Nisin

Nisin, mikrobiyal bozulmayı önleyen koruyuculardan biri olup *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* tarafından kimyasal bir savunma sistemi olarak rekabet içerisinde bulunduğu mikroorganizmalara karşı üretilen, lantibiyotikler olarak adlandırılan 1. Grup ve karbonhidratça zengin olan bir bakteriyosindir. Nisin (E 234) ilk olarak İngiltere'de

gıda katkı maddesi olarak kabul edilmiş ve ardından Avrupa’da 50 ülkede, Amerika’da ve Çin’de kullanılmıştır. Birleşmiş Milletler Gıda ve İlaç İdaresi tarafından “GRAS” (Genel Olarak Güvenli Kabul Edilebilir Ürün) statüsünde kabul edilmiş ve Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization, WHO) tarafından onaylanmış gıda katkı maddesi olan bir bakteriyosindir. Moleküler ağırlığı yaklaşık olarak 3350 dalton olup yapısında 34 amino asit bulunmaktadır (Şekil 2.3.) (Klaenhammer, 1993; Nes ve ark., 1996; Koponen, 2004; Cheigh ve Pyun, 2005; Erkmén, 2013; Ceylan ve Mol, 2015).



Şekil 2.3. Nisin primer yapısı (Koponen, 2004).

Nisin, kuru formda özelliğini yitirmeden uzun yıllar kalabilmektedir ve depolama stabilitesi yüksektir. Isıya karşı dirençlidir ve sudaki çözünürlüğü yüksektir. Ayrıca kullanıldığı gıdalarda olumsuz lezzete neden olmamaktadır. Düşük pH’lı ortamlarda daha etkilidir, pH 4’ün üzerinde çözünürlüğü ve etkinliği daha düşüktür. Nisin sindirim enzimlerine karşı dirençli değildir ve vücuda alındıktan sonra hızlı bir şekilde insandaki sindirim enzimleri tarafından inaktif hale getirilir (Boutterfroy ve Milliere, 2000; Chen ve Hoover, 2003; Kurt ve Zorba, 2005; Altuğ, 2009; Erkmén, 2013).

2.2.2. Nisin antimikrobiyal etkinliği

Nisin antimikrobiyal etkisi stoplazmik zarın etkilenmesiyle hücre sıvısının ve adenozin trifosfat gibi hücre maddelerinin dışarı sızdırılması şeklinde olmaktadır. Özellikle laktik asit bakterileri olmak üzere Gram (+) bakterilere ve spora karşı etkili antimikrobiyal özellik içermektedir. Patojen *Listeria monocytogenes* ve *Listeria*’nın

bazı türleri üzerine nisin oldukça etkilidir. Gram (-) bakterilere, maya ve küflere karşı nisin etkili olamamaktır. Sitratarlar, EDTA gibi şelat ajanlarıyla veya lizozim, sodyum laktat, NaCl gibi maddelerle birlikte kullanıldığında ise antimikrobiyal etkinliğinin daha da genişlemesi sağlanmakta ve böylece bazı Gram (-) bakteriler üzerine de etkili olmaktadır. Nisinin, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Micrococcus* ve *Lactobacillus* türlerinin bazı suşlarına ve *Clostridium* ile *Bacillus* türlerine etkili olduğu bilinmektedir. Nisin, antimikrobiyal etkisini stoplazmik membranda hücreler arası metabolitlerin hücre içine girmesini sağlayan gözeneklerin oluşmasını sağlayarak göstermektedir. Nisinin ısıl işlem uygulanmış gıdalarda etkisinin daha fazla olduğu bilinmektedir (Amiali ve ark., 1998; Chen ve Hoover, 2003; Koponen, 2004; Delves-Broughton, 2005; Hampikyan ve Çolak, 2007; Lubelski ve ark., 2008; Altuğ, 2009; Erkmen, 2013).

Nisin ilk olarak peynirlerde raf ömrünü uzatmak amacıyla daha sonra ise diğer süt ürünlerinde kullanılmıştır. Nisin, ayrıca konserve ürünleri, et ve et ürünleri, deniz ürünleri, salata sosları, alkollü içecekler, pasta mamulleri, sebze, sıvı yumurta ve hazır çorbalarda da kullanılabilir (Abee, 1995; Delves-Broughton ve ark., 1996; Elliason ve Tatini, 2000; Hampikyan ve Çolak, 2007; Erkmen, 2013).

Budu-Amoako ve ark. (1999) tarafından yapılan bir çalışmada, konserve salamurasına 25 mg/kg oranında nisin ve 3-5 log seviyelerinde *L. monocytogenes* ilave ettikten sonra konserveler 65.5°C'de 13-18 dk süreyle ısıtılmıştır. İşlem sonunda örnekler *L. monocytogenes* yönünden kontrol edilmiş ve mikroorganizma sayısında 1-3 log civarında bir azalmanın olduğunu belirlenmiştir.

Elliason ve Tatini (1999) tarafından nisinin *S. typhimurium* ve verotoksijenik *E. coli* üzerine etkisi araştırılmıştır. Araştırmacılar, mikroorganizmaları besi yeri ortamına inoküle etmiş ve ardından besiyerine 100 IU oranında nisin ilave etmişlerdir. Sonuç olarak, *S. typhimurium* ve verotoksijenik *E. coli* sayılarında önemli düzeylerde azalma tespit edilmiştir.

Nykanen ve ark. (2000), dumanlanmış balık örneklerine, nisin (4000-6000 IU/mL) ve nisinin % 60'lık sodyum laktat ile 1:1 oranındaki kombinasyonunu enjekte etmişlerdir. Çalışma sonucunda nisinin, üründeki *L. monocytogenes* ve toplam mezofil bakteri sayısını düşürdüğü, fakat nisin-sodyum laktat kombinasyonu uygulanmasının daha etkin sonuçlar verdiği bildirilmiştir.

Schillinger ve ark. (2001), soya fasulyesinden elde edilen tofulara *L. monocytogenes* inoküle ederek farklı nisin konsantrasyonlarının bu mikroorganizma üzerine etkisini incelemişlerdir. 2000 IU oranında nisinin, *L. monocytogenes* sayısını 60 Kob/g'dan 10 kob/g düzeylerine indirdiği belirlenmiştir. Aynı zamanda, 1000 IU oranında kullanılan nisin ile *L. monocytogenes* sayısının sabit kaldığı, 500 IU oranındaki nisinin ise *L. monocytogenes* sayısı üzerine etkisinin olmadığı ortaya konulmuştur.

Çolak ve ark. (2008), nisinin köftedeki antimikrobiyal etkisini araştırmışlardır. Köftelere 100 µg/g miktarında nisin ilavesi ile antimikrobiyal gelişmenin yavaşlatıldığı ve raf ömrünün artırıldığı tespit edilmiştir.

Da Silva Malheiros ve ark. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada, nisin, soya lesitininden hazırlanan nanopartiküller içinde enkapsüle edilmiştir. Enkapsüle ve serbest nisinin etkisi, 0.5 mg/mL konsantrasyonunda *L. monocytogenes* eklenen sütlerde, 14 gün boyunca değerlendirilmiştir. Enkapsüle ve serbest nisin uygulaması ile *L. monocytogenes* sayısında 3-4 log azalma belirlenmiştir.

Langroudi ve ark. (2011) yapmış oldukları çalışmada ot sazını filetolarının mikrobiyal yükünün, nisin uygulaması ile düşürüldüğünü aynı zamanda kimyasal bir kalite göstergesi olan TVB-N ve TBA değerlerinin de azaltıldığını ortaya koymuşlardır.

Abdollahzadeh ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada, nisin, kekik esansiyel yağı ve nisin-kekik esansiyel yağ kombinasyonlarının *Listeria monocytogenes* üzerine antimikrobiyal etkisi araştırılmıştır. Nisin tek başına zayıf, nisin-esansiyel yağ kombinasyonu ise oldukça güçlü antimikrobiyal etki göstermiştir.

Ferrocino ve ark. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, sığır burgerleri, nisin ile aktive edilmiş antimikrobiyal ambalajlar içerisine konularak 4°C'de depolanmıştır. Nisin içeren aktif ambalajın, toplam canlı bakteri ve laktik asit bakterilerinin büyümesini geciktirdiği belirlenmiştir.

Krivorotova ve ark. (2016), 4.0-7.0 pH aralığında, farklı metoksilasyon derecelerine sahip üç tip pektin ve nisin içeren antimikrobiyal nanopartiküller tasarlamıştır. Çalışmada, zeta potansiyel ölçümleri ve FTIR analizleri yapılarak, peptit ve pektin arasındaki elektrostatik etkileşimlerin varlığı doğrulanmıştır.

2.3. Enkapsülasyon

Enkapsülasyon, bir maddenin başka bir madde içinde hapsedilmesidir. Kaplanan madde çekirdek, dolgu veya aktif madde olarak, kaplama maddesi ise kapsül, taşıyıcı materyal veya kabuk olarak adlandırılmaktadır. Enkapsülasyon teknolojisi kaplanan maddenin işlenmesi aşamasında ürünün stabilitesinin korunmasını sağlar. Enkapsüle edilen biyoaktif maddelerin, uçucu yağların ve aroma maddelerinin kapsül ile kimyasal parçalanmalara karşı korunması sağlanmaktadır (Nedovic ve ark., 2011; Dordevic ve ark., 2015).

Enkapsülasyon teknolojisi ile gıdaların raf ömrünün ve biyoyararlılığının artırılması, gıdaların doğallığının korunması ve gıda çeşitliliğinin artırılması sağlanabilmektedir. Enkapsülasyon teknolojisi ile artan biyoyararlılık ve fonksiyonellik de sağlanabilmektedir (Nedovic ve ark., 2011; Gökmen ve ark., 2012;).

Enkapsülasyon teknolojisi gıdalarda genellikle; aktif maddenin aktivitesini kapsül içerisinde sınırlayarak parçalanmasını azaltmak ve önlemek, orijinal maddenin fiziksel karakterini modifiye ederek kolay işlem yapılabilmesini sağlamak, aktif maddenin istenen zamanda ve ortamda dışarıya salgılanmasını temin etmek, aktif maddenin istenmeyen kokusunun ve tadının maskelenmesini sağlamak için kullanılmaktadır (Desai ve Park, 2005).

Enkapsülasyon tasarlanırken, enkapsüle edilen maddenin fizikokimyasal özellikleri, enkapsüle edilecek maddenin saklanma süresi, depolama parametreleri, üretim ve işlem sırasındaki parametreler göz önünde bulundurulmalıdır (Gökmen ve ark., 2012).

2.4. Nanoteknoloji ve Nanolif

Nanoteknoloji, maddeler üzerinde 100 nanometre ölçeğinden küçük boyutlarda gerçekleştirilen ölçüm, tasarım, işleme, düzenleme ve modelleme gibi çalışmalarla tamamen yeni kimyasal/fiziksel özellikler kazanmayı hedefleyen yeni ve hızlı bir şekilde gelişen bir teknoloji dalıdır. Nano kelimesiyle bir birimin milyarda biri ifade edilir. Nanoteknoloji elektronik, tıp, ilaç, tekstil, çevre, biyoteknoloji, malzeme, bilgisayar, tarım ve gıda gibi alanlarda kullanılabilmektedir. Nanoteknoloji ile gıda

içerisindeki çeşitli maddeler moleküler düzeyde istenen özelliklere göre tasarlanıp, kontrol edilebilecektir. Farklı nano yapıların ilavesi ile gıdaların duyuşal ve mekanik özelliklerinin işlenmesi ve yeni ürünlerin geliştirilmesi sağlanabilmektedir. Nanoteknolojinin en önemli özelliklerinden birisi daha küçük olmasının yanında malzemelerin nanoboyutta farklı özellikler göstermesidir (Coşkun Üstündağ, 2009; Tarhan ve ark., 2010; Kumru, 2013).

Nanoteknoloji gıda alanında, gıdaların işlenmesi, değişik aroma, renk ve biyoaktif maddelerin eklenmesi ile fonksiyonel gıdaların eldesi, biyoaktif maddelerin kontrollü bir şekilde salınımı, ürün raf ömrünün artırılması amacıyla kullanılabilir. Gıda makromoleküllerinden oluşturulan biyopolimerik nanoparçacıklar, nanokompozitler, nanoemülsiyonlar, nanolifler, nanosensörler ve nanotüpler farklı amaçlarla gıda uygulamalarında kullanılabilir özelliğine sahiptirler (Tarhan ve ark., 2010).

Nanolifler çapları 50 ile 300 nm arasında olan lifler için kullanılan bir terimdir. Ancak görsel büyütme aracılığı ile görülebilmektedirler. Nanolifler çok küçük yapılarda ve geniş yüzey alanlarına sahiptirler, ayrıca biyolojik açıdan uyumlu olmaları ve çok gözenekli ağ oluşturabilmeleri nedeniyle oldukça geniş bir alanda kullanılabilir imkânı sağlamaktadırlar. Nanolifler, fibrilasyon ile, meltblown tekniği ile, bikomponent ve elektrodöndürme (electrospinning) yöntemleri ile üretilebilmektedirler (Kozanoğlu, 2006; Ramakrishna ve ark., 2006; Kumru, 2013; İpek, 2016).

2.5. Elektrodöndürme Yöntemi

2.5.1. Elektrodöndürme yönteminin tarihçesi

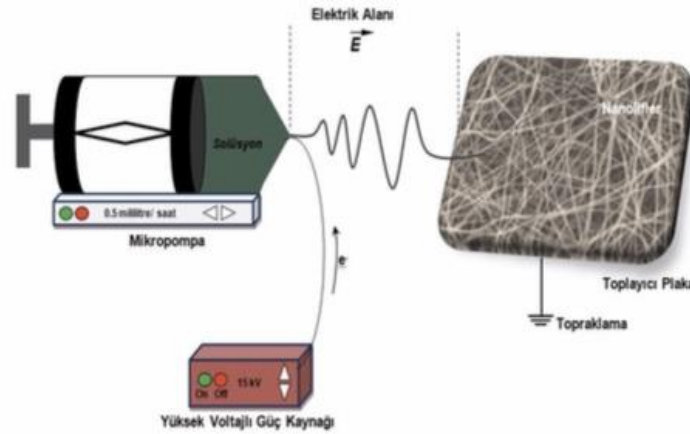
Bir sıvının elektrostatik çekiminin ilk kaydı 17. Yüzyılda William Gilbert tarafından gözlemlenmiştir. William Gilbert su damlasının elektriksel güç ile belli bir mesafeye çekilebileceğini göstermiştir. Elektrodöndürme yöntemi ise ilk olarak 1897’de Lord Rayleigh aracılığı ile tanımlanmış ve polimer damlasının elektrodöndürme işleminde gösterdiği düzensiz davranışlar gözlemlenmiştir. İlk patent ise 1902’de John F. Cooley tarafından alınmıştır. Elektrodöndürme yönteminde en önemli gelişme, Anton Formhals aracılığı ile 1934’de polimerlerden üretilen nanoliflerin patentinin alınmasıdır.

1990 yılında elektrodöndürme yöntemi ile küçük çaplarda lif üretimi gerçekleştirilmiş ve elektrodöndürme yöntemi ile ilgili çalışmalar artmaya başlamıştır. V. Drozin, farklı sıvılara 0 ile 12 kV aralığında elektriksel güç uygulayarak elektriksel gücün daha az olduğunda daha kararlı liflerin oluştuğunu belirlemiş ve yüksek güç uygulandığında ise jetin kaybolduğunu tespit etmiştir (Tucker ve ark., 2012; Kumru, 2013; Çiçek, 2016; Ceylan, 2017b).

2.5.2. Elektrodöndürme yöntemi ile nanolif üretimi

Polimerin elektriksel olarak yüklenmesi ve toplayıcı plaka üzerinde dağınık şekilde nanoliflerin konumlanması esasına dayanan elektrodöndürme yöntemi, polimer esaslı nanolif üretim yöntemleri arasında en avantajlı olan yöntemlerden biridir. Elektrik alan aracılığı ile oluşturulan liflerin çapları nano boyutta olmaktadır. Elektrodöndürme yöntemi ile elde edilen nanoliflerin eldesinin basit olması, yüksek yüzey alanına sahip olmaları, ince filamentler şeklinde olmaları ve çok az miktarlara ihtiyaç duyulması bakımından önemlidir (Kozanoğlu, 2006; Coşkun Üstündağ, 2009a; Erdem, 2013).

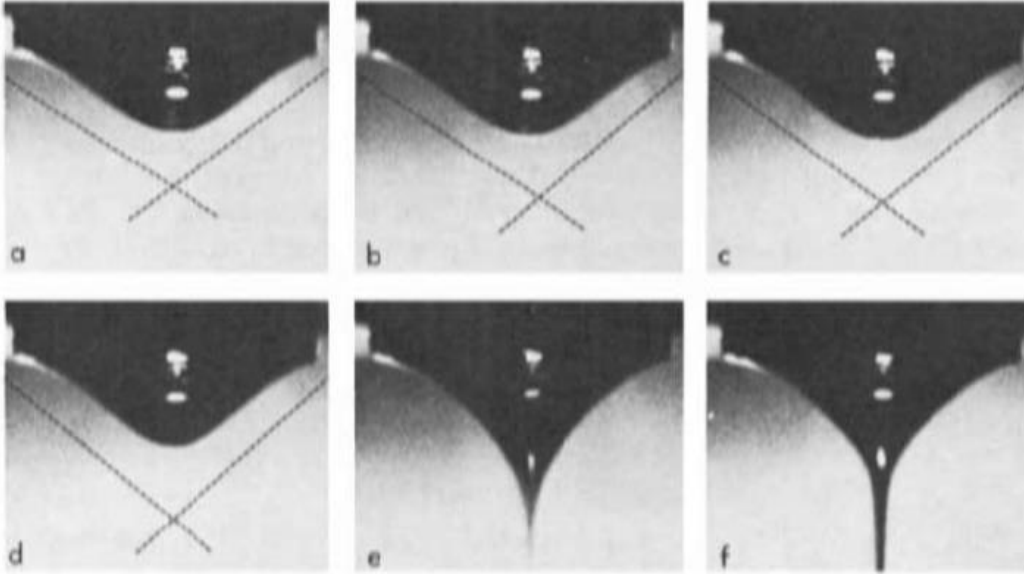
Elektrodöndürme düzeneğinde, yüksek voltaj güç kaynağı, elektrot, toplayıcı plaka, sıvı polimer olacak şekilde dört ana kısım bulunmaktadır (Şekil 2.4.).



Şekil 2.4. Elektrodöndürme yöntemiyle nanolif üretiminin şematik gösterimi (Çevik, 2016).

Çözelti halindeki sıvı polimer kılcal bir borudan beslenir ve pompa aracılığıyla şırınganın ucuna gelir. Yüksek voltaj güç kaynağı ile polimer çözeltilisine 50 kV'a kadar

yüksek voltaj uygulanır. İğnenin ucunda asılı kalan polimer çözelti damlacığının yüzeyi elektriksel olarak yüklenir. Şınganın uçundaki sıvı polimer çözeltisi düşük voltaj değerinde küresel damlacık halindedir. Voltaj oranı arttığında ise polimer damlacığı koni (Taylor konisi) şeklini alır (Şekil 2.5.). Voltaj kritik değere ulaşır damlacıktaki yüklerin itme kuvvetleri, yüzey gerilimi kuvvetlerini yendiğinde Taylor konisinin ucundan ince bir jet oluşur ve polimer konisi artan voltaj ile jet halini alır. Bu polimer çözeltisi jeti, karşısındaki toplayıcı plakaya doğru akar. Polimer zincirlerin dolanması jetin kırılmasını önler ve polimer çözeltisindeki çözücü bu esnada buharlaşarak uzaklaşır ardından nano boyutta lifler oluşur. Elektrodöndürme yöntemi ile elde edilen nanolifler yüksek yüzey alanı nedeniyle hacim oranına bağlı olarak çeşitli endüstrilerde kullanılabilir (Kozanoğlu, 2006; Ramakrishna ve ark., 2006; Coşkun Üstündağ, 2009; Coşkun Üstündağ ve Karaca, 2009; Güçlü, 2012; Erdem, 2013; Çiçek, 2016; Kwak ve ark., 2017).



Şekil 2.5. Taylor konisi ve jet oluşumu, a-110°, b-107°, c-104°, d-100° (Kozanoğlu, 2006).

Doğal ya da sentetik polimerler elektrodöndürme yönteminde kullanılabilir. Doğal polimerlere örnek olarak, kitosan, jelatin, selüloz, zein, aljinat, sodyum aljinat, glaidin, sentetik polimerlere ise poliglolik asit, poli-D laktik asit, polikaprolakton, polietilen oksit, polivinil asetat gibi maddeler verilebilir (Şener, 2011; Terzi, 2013; Ceylan, 2017b).

Yang ve ark. (2007)'nin yaptığı çalışmada, jelatin/PVA bileşenli nanolifler, elektrodöndürme yöntemi ile üretilmiştir. Üretilen nanoliflerde PVA oranı arttıkça belirgin çap artışı gözlemlenmiştir.

Kejing ve ark. (2010), balık derisi jelatininden, elektrodöndürme yöntemi ile nanolifler elde etmişlerdir. Balık jelatini çözeltilerinin konsantrasyonu ve elektriksel alan yoğunluğu gibi elektrodöndürme parametrelerinin, jelatin nanoliflerinin morfolojisi üzerine etkileri incelenmiştir. Balık jelatinin membranlarının mekanik özellikleri nedeniyle balık jelatininden ve poli(1-laktat)(PLLA)'den oluşan kompozit nanolifleri ile yeni bir çözelti üretilmiştir. PLLA'nın balık jelatinin membranlarının mekanik özelliklerini önemli düzeyde geliştirdiği belirlenmiştir.

Gu ve ark. (2013) tarafından yapılan bir çalışmada, saf kitosan kullanılarak, elektrodöndürme yöntemi ile nanolifler elde edilmiştir. Elde edilen asidik kitosan nanoliflerin, suda çözünürlüğü olan bir malzemedan suda çözünürlüğü olmayan bir malzeme haline getirilmesi için çeşitli alkali çözeltilerin test edilmesiyle, optimum nötralizasyon koşulları belirlenmiştir. Elde edilen suda çözünürlüğü olmayan kitosan nanoliflerinin gözenekliliği, 1 dakika ultra-sonikasyon işlemi ile % 79.9'dan % 97.2'ye çıkarılmıştır ve su emme süresi, 110'dan 9'a düşürülmüştür.

Ceylan ve ark. (2017a), sıvı duman ve timolü kitosan tabanlı nanoliflere elektrodöndürme yöntemi ile yüklemiş ve elde edilen nanoliflerle balık filetoalarını kaplayarak mikrobiyal kalitenin daha uzun süre korunduğunu tespit etmişlerdir.

Kwak ve ark. (2017), hiçbir ilave polimer ve sıcaklık kontrol tesisi olmadan hazırlanan sulu çözeltilerden elektrodöndürme yöntemi ile ultra ince balık jelatin nanolifi hazırlamıştır. Balık jelatin konsantrasyonunun ve viskozitesinin, elektrodöndürme işleminde ve lif çapının belirlenmesinde en önemli faktör olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, elektrodöndürme yöntemi ile elde edilen sulu balık jelatininin etkili bir alternatif jelatin kaynağı olabileceği belirtilmiştir.

2.5.3. Elektrodöndürme yöntemine etki eden parametreler

Elektrodöndürme yönteminde hatasız ve sürekli lifler elde edebilmek için; moleküler ağırlık, voltaj, konsantrasyon, viskozite, elektrodöndürme çözeltisinin akış hızı, şırınga ucu, toplayıcı plaka ile şırınga ucu arasındaki mesafe, çözücünün etkisi,

toplayıcı plakanın tipi, yüzey gerilimi, dielektrik sabiti, elektriksel iletkenlik, sıcaklık ve ortamın nemi gibi parametreler önem arz etmektedir (Yang ve ark., 2007; Aldana ve Abraham, 2017).

2.5.3.1. Moleküler ağırlık

Elektrodöndürme yönteminde yüksek moleküler ağırlığa sahip polimerler kullanıldığında çapı büyük lifler, çok düşük moleküler ağırlığa sahip polimerler kullanıldığında ise boncuklanma oluşmaktadır (Kumru, 2013).

2.5.3.2. Voltaj

Elektrodöndürme yönteminde uygulanan voltajın kritik değeri polimerden polimere farklılık göstermektedir. Uygulanan voltajda bir artış ile daha küçük çaplı nanoliflerin oluşumu, polimer çözeltisinin, polimer jeti içerisindeki şarj itişisi ile bağlantılı olarak gerilmesine bağlıdır. Kritik değerden fazla uygulanan voltaj, boncuklu nanoliflerin oluşumuna neden olur ve boncuklu yapılar, Taylor konisinin boyutundaki düşüşe ve jet hızındaki artışa neden olmaktadır (Haider ve ark., 2018).

2.5.3.3. Konsantrasyon

Elektrodöndürme yönteminde elektriksel gerilimin uygulanacağı çözeltinin konsantrasyonu optimal değerde olmalıdır. Çözeltinin konsantrasyonunun çok düşük ya da çok yüksek olduğu durumlarda nanolif oluşmamaktadır. Elektrodöndürme yöntemindeki diğer parametreler sabit tutulduğunda, çözelti konsantrasyonunun artması oluşan liflerin çapının artmasına neden olmakta, şırınga ucundan akışı engellemekte ve kusurlu, boncuklu yapıda nanoliflerin oluşumuna neden olmaktadır (Kumru, 2013; Haider ve ark., 2018).

2.5.3.4. Viskozite

Elektrodöndürme yönteminde konsantrasyonun artırılması viskozitede bir artışa neden olmaktadır. Viskozitenin artması polimer zincirleri arasındaki zincir dolaşımlarının artmasına neden olmaktadır. Bu zincir karmaşasının sonucunda tek tip boncuksuz nanoliflerin oluşması sağlanmaktadır. Bu nedenle kritik polimer konsantrasyon değeri belirlenmelidir (Haider ve ark., 2018).

2.5.3.5. Elektrodöndürme çözeltisinin akış hızı

Elektrodöndürme yönteminde polimer çözeltisinin metalik iğne ucu içinden akışı, nanoliflerin morfolojisini belirler. Düzgün ve boncuksuz bir nanolif oluşumu için polimer çözeltisinin kritik akış hızı iyi belirlenmelidir. Bu kritik değer polimer sistemine göre değişmektedir. Akış hızı kritik değerin üzerine çıktığında nanolif çapında artış ve boncuklanma meydana gelmektedir. Polimer çözeltisinin jete dönüşmesi için minimum akış hızı tercih edilir. Akış hızının artmasıyla elektrik akımının da arttığı ve yüzey yükü yoğunluğunun azaldığı görülmüştür. Yüzey yükü yoğunluğundaki azalma nanoliflerin toplayıcı plakaya doğru uçuşlarında birleşmelerine neden olmaktadır (Haider ve ark., 2018).

2.5.3.6. Şırınga ucu

Elektrodöndürme yönteminde kullanılan şırınga ucu nanoliflerin çapını ve üretilen nanoliflerin toplayıcı plaka üzerinde kapladıkları alanı etkilemektedir. Küçük çaplı şırınga uçları kullanılarak küçük çaplı nanolifler elde edilmektedir. Fakat küçük çaplı şırınga uçlarının yüksek viskozitelerde tıkanabilme riski bulunmaktadır (Çiçek, 2016; Okutan, 2013).

2.5.3.7. Toplayıcı plaka ile şırınga ucu arasındaki mesafe

Elektrodöndürme yönteminde, toplayıcı plaka ile şırınga ucu arasındaki mesafe nanoliflerin morfolojisini belirlemede önemli bir rol oynamaktadır ve toplayıcı plaka ile

şırınga ucu arasındaki mesafe polimer çözeltisi sistemine göre değişmektedir. Nanolif morfolojisi uzaklıktan kolay bir şekilde etkilenebilmektedir. Çünkü birikme süresi, buharlaşma hızı ve kararsızlık uzaklığa bağlıdır. Bu nedenle elde edilen nanoliflerin pürüzsüz ve düzgün bir şekilde elde edilebilmesi için kritik bir mesafenin korunması gerekmektedir. Toplayıcı plaka ile şırınga ucu arasındaki mesafe arttıkça nanoliflerin çapları azalmaktadır (Haider ve ark., 2018).

2.5.3.8. Çözücünün etkisi

Elektrodöndürme işleminde çözücünün seçimi, pürüzsüz ve boncuksuz nanoliflerin üretimi için önemli faktörlerden biridir. Elektrodöndürme işlemi için seçilen çözücüler polimeri tam çözebilmeli ve ılımlı bir kaynama noktasına sahip olmalıdır. Çözücü nanoliflerden kolayca buharlaşabilmeli aynı zamanda şırınga ucunun kurummasına, şırınga ucunun tıkanmasına ve spinleme işleminin engellenmesine neden olmamalıdır. Uçuculuğu çok düşük çözücüler ise toplayıcı plakada çözelti içeren nanoliflerin birikmesi ile boncuklu nanoliflerin oluşumuna neden olmaktadır (Haider ve ark., 2018).

2.5.3.9. Toplayıcı plakanın tipi

Elektrodöndürme yönteminde kullanılan toplayıcı plakanın üretildiği materyal ve toplayıcı plakanın şekli üretilen nanoliflerin morfolojisine etki etmektedir. Üretilen nanoliflerin topraklanmış toplayıcı plaka ile temas etmesi durumunda nanoliflerin elektriksel yükleri sıfırlanmaktadır, böylelikle nanoliflerin morfolojileri ve yoğunlukları etkilenmektedir. Toplayıcı plakanın geometrik şekli ise nanoliflerin toplanma miktarına ve hangi şekilde toplanacağına etki etmektedir (Okutan, 2013; Çiçek, 2016).

2.5.3.10. Yüzey gerilimi

Elektrodöndürme yönteminde en başta polimer çözeltisinin yüzey geriliminin aşılması gerekmektedir. Yüzey gerilimi boncuklu yapıların oluşumuna neden olmakta ayrıca yüzey gerilimi serbest haldeki çözücü moleküllerin birleşmesine neden

olmaktadır. Viskozitenin artması sonucunda serbest haldeki çözücü moleküllerin sayısı azalacağından toplanma oluşumu engellenebilmektedir (İçoğlu, 2014).

2.5.3.11. Dielektrik sabiti

Elektrodöndürme yönteminde dielektrik sabiti kullanılan çözücü ve polimere göre farklılık göstermektedir. Elektrodöndürme yönteminde yüksek dielektrik sabiti, çözelti içerisinde elektriksel yüklerin eşit dağılmasını sağlayarak daha fazla nanolif oluşumuna neden olmaktadır (Okutan, 2013).

2.5.3.12. Elektriksel iletkenlik

Elektrodöndürme yönteminde kullanılan polimerler çözündüğünde iyonik bileşikler açığa çıkarak çözeltinin iletkenliği arttırılmaktadır. Çözeltinin iletkenliği düşük olduğunda istenilen şekilde nanolif ve jet oluşmamaktadır. Çözeltinin elektriksel iletkenliği kritik değere yaklaştıkça nanolif oluşumu artmaktadır. Kritik değerini aşılması gerekmektedir (Çiçek, 2016).

2.5.3.13. Sıcaklık ve ortamın neminin etkisi

Elektrodöndürme yönteminde çevresel faktörler elde edilen nanoliflerin çap ve morfolojisine etki etmektedir. Çevresel faktörlerden biri olan nem jetin katılaşmasını kontrol ederek nanoliflerin çapında değişime neden olmaktadır (Haider ve ark., 2018).

Elektrodöndürme yönteminde bir diğer çevresel faktör olan sıcaklık artıkça daha küçük çaplı nanolifler üretilmektedir ve sıcaklığın etkisi ile çözücünün polimerden uzaklaşması kolaylaşabilmektedir (Çiçek, 2016).



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Gıda materyali olarak ortalama ağırlığı 250 ± 300 g toplam 36 adet gökkuşacağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*), Van'da bulunan yerel bir su ürünleri çiftliğinden Ağustos, 2018 tarihinde alınmış ve 20 dk içerisinde Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'na buzlu ve yalıtımlı polisitren kutusunda paketli ve hijyenik koşullarda getirilmiştir. Çalışmada kullanılan polivinil alkol (PVA), nisin ve kurkumin Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, ABD); Plate Count Agar (PCA), Dichloran Rose Bengal Agar (DRBC), Man Rogosa Sharpe Medium Agar (MRS) Merck (Darmstadt, Almanya); 4,6-Dihydroxy-2-mercaptopyrimidine, % 98 (TBA-reagents) Carlo Erba (Milan, İtalya) firmasından temin edilmiştir. Araştırmada analitik saflıktaki kimyasal maddeler kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Elektrodöndürme yöntemi ile nanolif üretimi

Bu çalışmada kullanılan elektrodöndürme ünitesi, nanolif üretimi ve nanoliflerin filetolara uygulanması sonrasında yapılan analizler Şekil 3.1., Şekil 3.2. ve Şekil 3.3.'de, sunulmuştur.

Polivinil alkol tabanlı nisin-kurkumin yüklü nanolif (NK) üretimi için öncelikle elektrodöndürme solüsyonu hazırlanmıştır. Stok elektrodöndürme solüsyonu 10 mL'de oluşturulmuştur. Polivinil alkolü (% 20 w/v) çözmek için saf su, nisini çözmek için 0.1 N HCl içeren saf su, kurkumini çözmek için etanol kullanılmıştır. 10 mL'lik solüsyon içerisinde NK üretimi için; 0.8 g nisin, 0.001 g kurkumin ve (% 20 w/v) PVA kullanılmıştır.

Elektrodöndürme yöntemi ile nanolif üretiminin başarılı bir şekilde yapılabilmesi için, elektrodöndürme yönteminin parametreleri belirlenmiştir. Bu amaçla yaklaşık 3 ay süren elektrodöndürme parametrelerinin belirlenmesi çalışmaları yapılmış

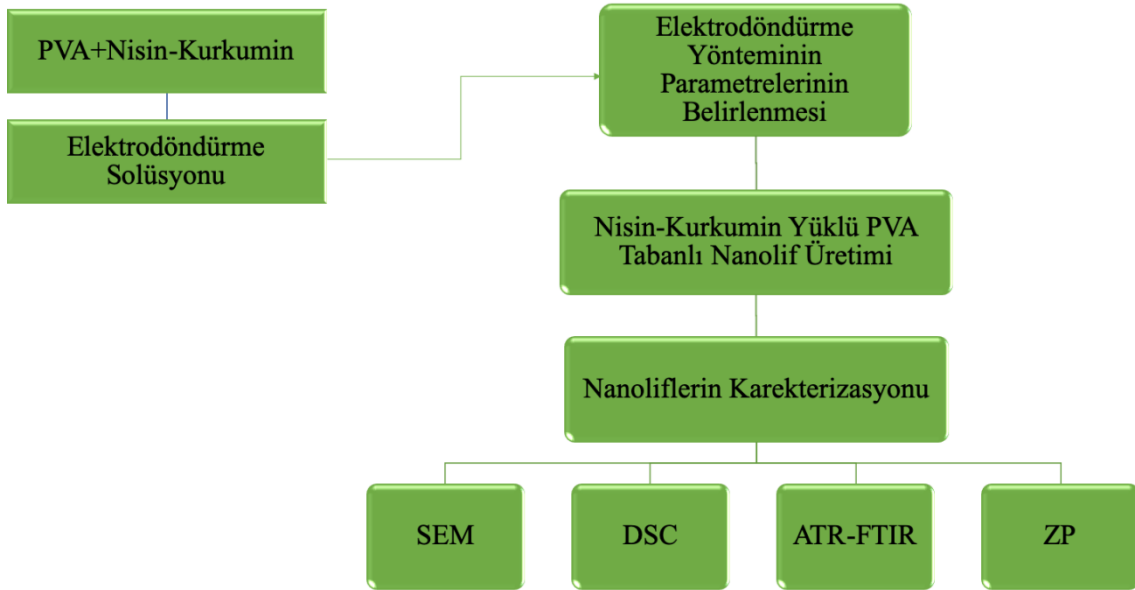
ve voltaj, akım, akış hızı, mesafe, kullanılacak olan taşıyıcı materyal (bu çalışmada jelatin, sodyum aljinat ve PVA denenmiştir), taşıyıcı materyalin konsantrasyonu, nisin ve kurkumin miktarı gibi parametreler belirlenmiştir.

Bu parametreler belirlenirken, elde edilen materyallerin SEM görüntüleri alınmış ve boncuksuz, çapı 300 nm'den küçük olan, düzenli ve ince yapılı nanolif eldesi hedeflenmiştir. Düzgün yapılı nanolif üretimi için gerekli parametreler belirlendikten sonra, elektrodöndürme işlemi ile PVA tabanlı nisin-kurkumin yüklü nanolif üretimine başlanmıştır.

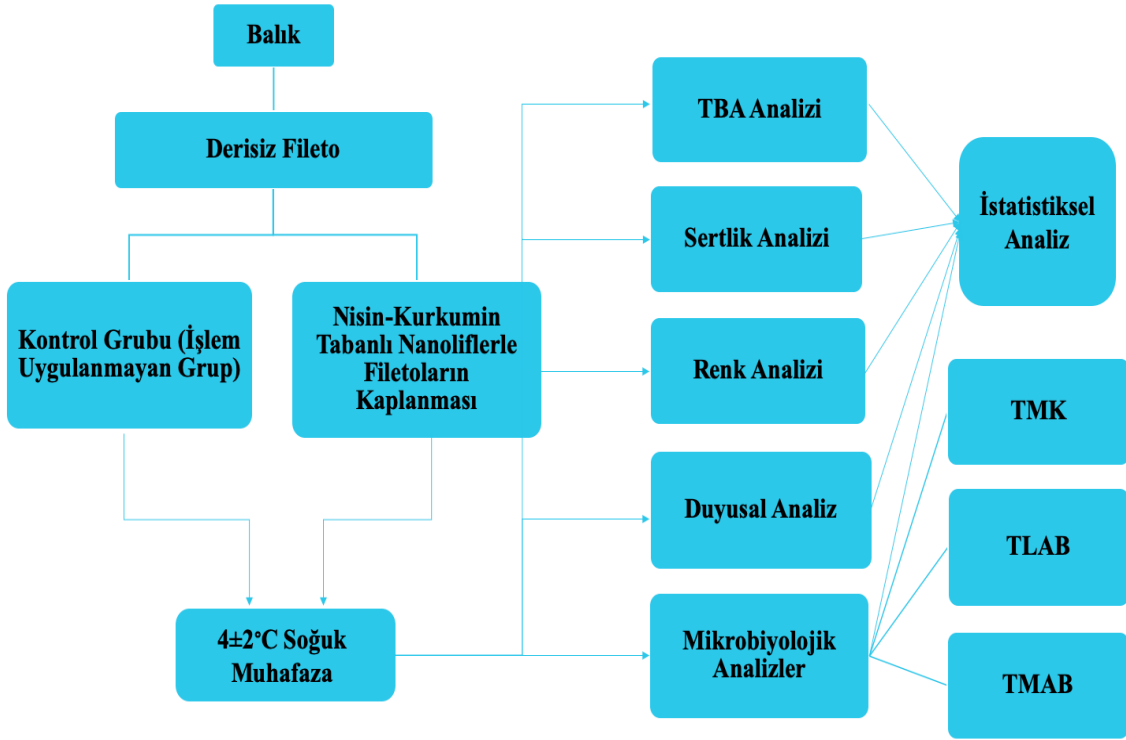
Elektrodöndürme yönteminde Ceylan (2017b) tarafından bildirilen yöntem modifiye edilerek kullanılmıştır. Stok elektrodöndürme solüsyonu, 10 mL'lik şırınga içerisine alınarak elektrodöndürme cihazına (HO-NFES-043U, Nanolif Elektrodöndürme Ünitesi, Kochi, Hindistan) yerleştirilmiştir. PVA tabanlı nisin-kurkumin yüklü nanoliflerin üretimi için voltaj değeri 20 kV, akım değeri 6 μ A olarak belirlenmiştir. Toplayıcı plaka ile şırınga ucu arasındaki mesafe 8 cm'lik mesafe olarak ayarlanmış ve elektrodöndürme polimer çözeltisinin akış hızı 1.2 mL/saat olarak belirlenmiştir. Üretilen nanolifler, toplayıcı plaka üzerine yerleştirilen alüminyum folyo üzerinde toplanmıştır. Üretilen nanolifler; FTIR, SEM, DSC cihazlarıyla karakterize edildikten sonra balık filetolarının kaplanmasında kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Elektrodöndürme cihazında nanolif üretimi.



Şekil 3.2. Nanolif üretim aşamaları.



Şekil 3.3. Nanoliflerle gökkuşağı alabalık filetolarının kaplanması ve filetolarda yapılan analizler.

3.2.2. Nanoliflerin karakterizasyonu

3.2.2.1. Morfolojik karakterizasyon (SEM) analizi

Üretilen PVA tabanlı nisin-kurkumin yüklü nanoliflerin morfolojileri Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) (Zeiss Supra 50 VP, Oberkochen, Almanya) ile belirlenmiştir. Görüntüler, vakum altında 5 kV'lık çalışma voltajı, 8 mm çalışma mesafesi ve 150.000x büyütme oranıyla alınmıştır.

3.2.2.2. Termal karakterizasyon analizi

Üretilen PVA tabanlı nisin-kurkumin yüklü nanoliflerin termomekanik ısı özellikleri Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) (Perkin Elmer DSC 8000) cihazı ile tespit edilmiştir. Örnekler alüminyum pan içine yerleştirilmiş ve hermetikli olarak kapatılmıştır. 10 ile 500°C arasında sıcaklık uygulanmış ve sıcaklık artışı 10°C/dk

olarak ayarlanmıştır. Referans olarak hermetikli kapatılmış, erime noktası ve entalpi değişiminin belirlendiği boş bir alüminyum pan kullanılmıştır.

3.2.2.3. Moleküler karakterizasyon (ATR-FTIR) analizi

Üretilen PVA tabanlı nisin-kurkumin yüklü nanoliflerin kimyasal yapıları ATR-FTIR spektroskopisi (Bruker Tensor 27 spektroskopisi Bremen-Almanya) cihazı kullanılarak belirlenmiştir. ATR-FTIR spektrumları her numune için 64 tarama alarak 4 cm^{-1} çözünürlükte, 400 ile 4000 cm^{-1} dalga sayısı aralığında tespit edilmiş ve kaydedilmiştir. Her ölçüm sonrası yumuşak bir peçete ve saf etanolle kristal yüzey temizlenmiş ve bir sonraki ölçüm için hazır hale getirilmiştir.

3.2.2.4. Zeta potansiyel (ZP) analizi

Üretilen PVA tabanlı nisin-kurkumin yüklü nanoliflerin zeta potansiyel ölçümleri Nano ZPS (Malvern Instruments Crop., Worcestershire, İngiltere) cihazı kullanılarak yapılmıştır. Örnekler, fosfat tampon çözeltisi içinde dağıtılmıştır ve elektrotları olan, tek kullanımlık bir katlanmış kılcal hücreye yerleştirilmiştir. Her numune için ortalama 30 ölçüm yapılmıştır. Tüm ölçümler 25°C 'de yapılmıştır. Zeta potansiyeli, Smoluchowski "Eş. 3.1."e göre hesaplanmıştır (Sze ve ark., 2003).

$$\xi = \eta \chi \mu / \varepsilon \quad (3.1.)$$

η : vizkozite

μ : elektroforetik akışkanlık

ε : çözgenin anlık dielektrik katsayısı

3.2.3. Gökkuşığı alabalık filetolarının nanoliflerle kaplanması ve kalite özelliklerinin belirlenmesi

3.2.3.1. Gökkuşığı alabalık filetolarının kaplanması

Laboratuvarında hızlı bir şekilde tüm gökkuşığı alabalıkları; baş, kemik ve iç organları çıkarılarak içilebilir nitelikteki su ile yıkanmış ve her balığın dorsal bölgesinden 40 ± 5 g'lık fileto elde edilmiştir (Şekil 3.4.). Gökkuşığı alabalık filetolarının yüzeyinin kaplanmasında, elektrodöndürme cihazı ile elde edilmiş ve alüminyum folyo üzerinde toplanmış olan nisin-kurkumin yüklü nanolifler kullanılmıştır (Şekil 3.5.).



Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan gökkuşığı alabalığı.



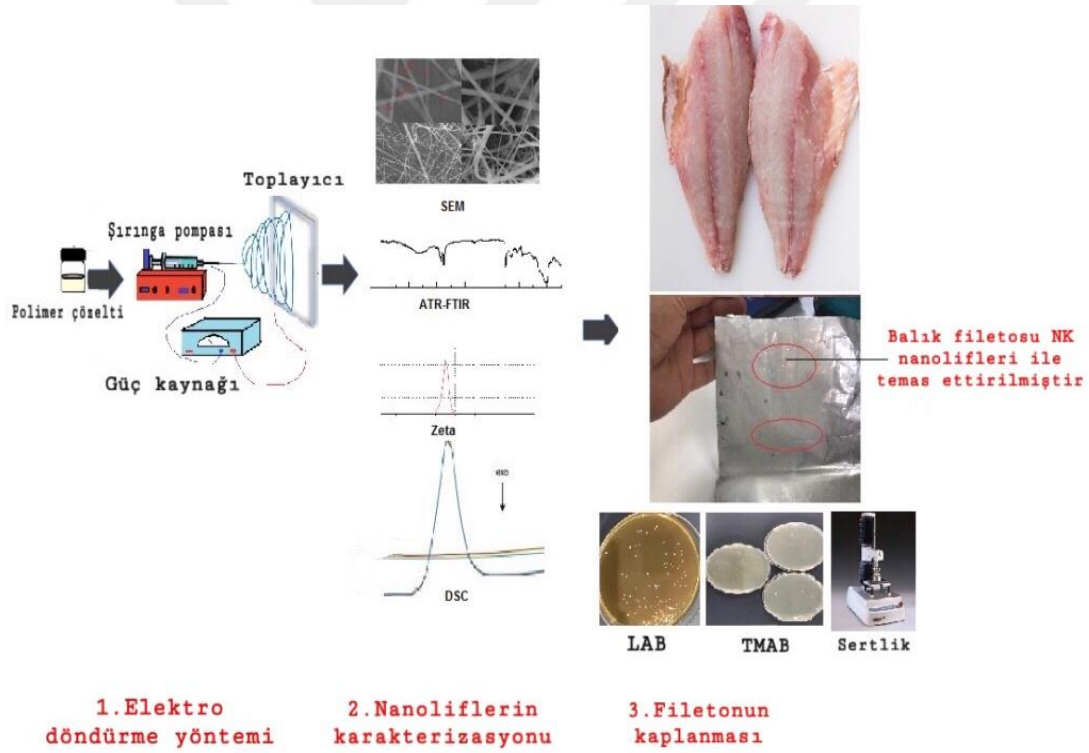
Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan PVA tabanlı nisin-kurkumin yüklü nanolifler.

Derisiz balık filetoları rastgele iki gruba ayrılmış ve her grup için 18 balık filetosu ($n=18$) olacak şekilde gruplandırma yapılmıştır. İlk grup uygulamaya tabi tutulmayan kontrol (K) grubu olarak kodlanmıştır. Derisiz filetoların her biri 40 ± 5 g olacak şekilde sterilize edilmiş alüminyum folyoya sarılmış ve kilitli poşetlerin içerisine yerleştirilip $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de muhafaza edilmiştir.

İkinci grup, karakterize edilen nanoliflerle kaplanmış ve NK grubu olarak adlandırılmıştır. Bunun için, 40 ± 5 g'lık balık filetoları yüzeyinde 15-20 mg oranında nanolifler bulunan alüminyum folyo ile yaklaşık 10 sn boyunca temas ettirilmiş ve bu alüminyum folyoya sarılarak kilitli poşetlerin içerisine yerleştirilmiştir. Poşet içindeki filetolar, $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de muhafaza edilmiştir. Balık filetosunun liflerle temas ettirilmesi Şekil 3.6.'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Gökkuşığı alabalık filetosunun nisin-kurkumin nanolifleri ile kaplanması.



Şekil 3.7. Nanoliflerin üretimi, karakterizasyonu, balık filetolarının kaplanması ve kalite özelliklerinin belirlenmesinin şematik gösterimi.

Tüm balık örnekleri muhafaza süresince $4 \pm 2^\circ\text{C}$ 'de buzdolabında 12 gün boyunca saklanmıştır. Bütün analizler, 0., 2., 4., 6., 8., 10. ve 12. muhafaza gününde gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.7' de bu çalışmanın özeti, şematik olarak verilmiştir.

3.2.3.2. Toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayımı

Kullanılan tüm araç gereçler ve besiyeri kullanılmadan önce otoklavda steril edilmiştir. K ve NK gruplarına ait balık filetoalarının ortasından her birinden ayrı ayrı 10 g'lık örnekler kesilerek, steril örnek poşetlerine aktarılmıştır. Üzerine % 0.1'lik 90 mL serum fizyolojik eklenerek 1 dk boyunca homojenize edilmiştir. Öncesinde hazırlanan ve içerisinde % 0.1'lik 9 mL serum fizyolojik su bulunan tüplere ilgili gruplardan 1 mL örnek alınarak analiz periyodu boyunca 10^{-1} 'den 10^{-8} 'e kadar seri dilüsyonlar hazırlanmıştır. Bütün mikrobiyolojik analizler için bu dilüsyonlar kullanılmıştır.

TMAB dökme plak yöntemine göre yapılmıştır. Her bir dilüsyondan 1 mL örnek alınarak petri kutusu içerisine otomatik pipet aracılığı ile aktarılmıştır. Örneğin üzerine Plate Count Agar (PCA) besiyerinin dökülmesi ve çalkalama işlemi gerçekleştirildikten sonra ekim gerçekleştirilmiştir. TMAB sayısının inkübasyonu için örnekler 30°C 'ye ayarlanmış inkübatörde, 24-48 saat süresince inkübasyona bırakılmıştır. Sonuçlar log kob/g olarak ifade edilmiştir. TMAB sayımı Maturin ve Peeler (1998) yöntemine göre gerçekleştirilmiştir.

3.2.3.3. Toplam laktik asit bakteri (TLAB) sayımı

TLAB sayımı yayma plak yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Her bir dilüsyondan 0.1 mL örnek alınarak MRS agar içeren petri kutusu içerisine otomatik pipet aracılığı ile aktarılmış ve dilüsyon Drigalski çubuğu ile besiyerine yayılmıştır. Petri kutuları, 30°C 'ye ayarlanmış inkübatörde, 3 gün süresince inkübasyona bırakılmıştır (Uçar, 2018). Sonuçlar log kob/g olarak ifade edilmiştir.

3.2.3.4. Toplam maya-küf (TMK) sayımı

TMK yayma plak yöntemine göre yapılmıştır. Maya ve küf sayımı için seri dilüsyonlardan 0.1 mL otomatik pipet aracılığı ile alınıp daha önceden petri kutusu içerisinde hazırlanmış olan DCRB agar üzerine ekilmiş ve Drigalski çubuğu yardımı ile yayılmıştır. Ardından örnekleri içeren petriler inkübasyon için 23°C 'de 5 gün süresince

inkübasyona bırakılmıştır. TMK analizi Anonim (2005)'e göre gerçekleştirilmiş ve sonuçlar log kob/g olarak ifade edilmiştir.

3.2.3.5. Duyusal analiz

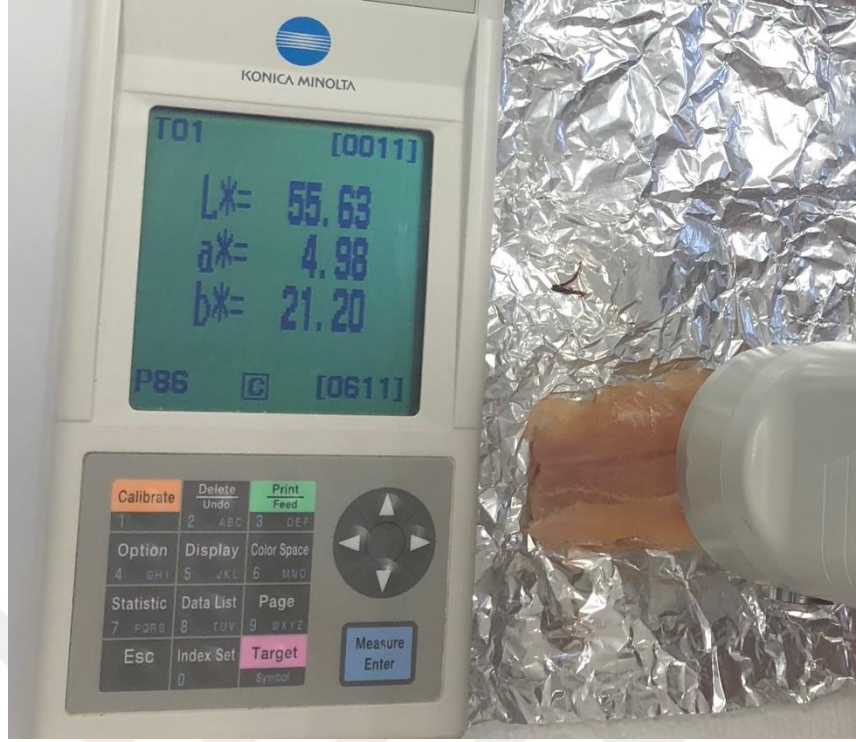
Muhafaza süresi boyunca balık filetolarının duyusal özelliklerini belirlemek amacıyla duyusal analiz testi uygulanmıştır. Duyusal analiz, 1-9 arası hedonik test tablosu kullanılarak Stone ve Sidel (2004)'e göre gerçekleştirilmiştir. Duyusal analizde örnekler; doku, renk, koku ve genel değerlendirme kriterlerine göre değerlendirilmiştir. 9 en yüksek kaliteyi, 4 duyusal kabul edilebilirliği tanımlayan sınır değeri temsil etmiştir. Panelistlerin duyusal değerlendirmeyi yaptıkları form Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Duyusal değerlendirme formu

Analiz Günü	Tarih	İsim	Cinsiyet/Yaş
	K	NK	
Koku			
Renk			
Doku			
Genel			
Değerlendirme			
9 Puan Mükemmel, 4 ve Altı Kabul Edilemez			

3.2.3.6. Renk analizi

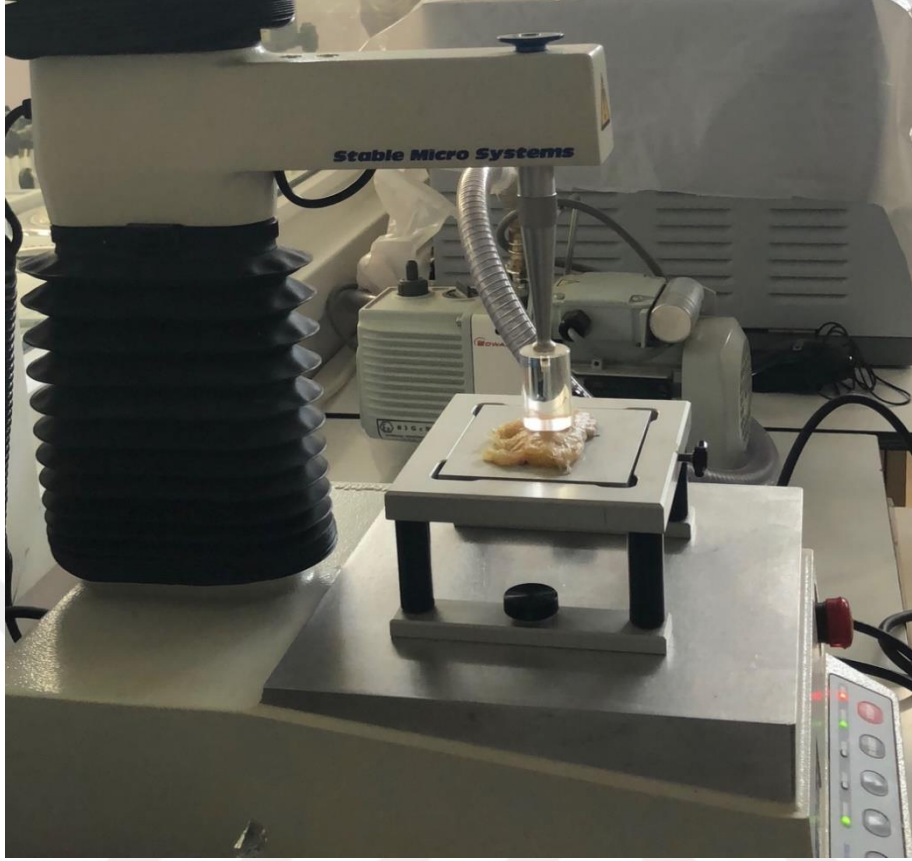
Gökkuşığı alabalığı örneklerinde renk ölçüm cihazı (Model CR-400, Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japonya) kullanılarak parlaklık (L^*), kırmızılık (a^*), sarılık (b^*) değerleri belirlenmiştir. Ölçümler en az 3 kez tekrar edilecek şekilde yapılarak sonuçlar elde edilmiştir. Analiz öncesinde cihazın kalibrasyonu beyaz ve siyah plaka ile sağlanmıştır. L^* değeri parlaklığı (Açıklık ve koyuluk; siyah için 0 değeri ile beyaz için 100 değeri arasında değişmektedir), a^* (pozitif değerde kırmızı rengi, negatif değerde yeşil rengi ifade eder), b^* (pozitif değerde sarı rengi, negatif değerde mavi rengi ifade eder).



Şekil 3.8. Gökkuşığı alabalık filetolarında renk ölçümü.

3.2.3.7. Sertlik analizi

Balık filetolarından 7x4x1 cm boyutlarında örnek alınmış ve bu örnekler sertlik analizinde kullanılmıştır. Gökkuşığı alabalığı fileto örneklerinde sertlik özelliği, 25 mm çapa sahip silindirik prob (Cylinder Probe With Radius) ile donatılmış TA.XT Plus Texture analiz cihazı (Stable Micro Systems, Ltd., Surrey, İngiltere) kullanılarak belirlenmiştir. Analiz koşulları; ön test hızı 2.0 mm/s, test hızı 1.0 mm/s, sıkıştırma oranı % 25, son test hızı 2.0 mm/s, kuvvet 5 g olarak ayarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar Texture Exponent 32 yazılım programı aracılığı ile otomatik olarak hesaplanmış ve sertlik değeri Newton (N) olarak verilmiştir (Yu ve ark., 2017).



Şekil 3.9. Gökkuşığı alabalık filetolarında sertlik analizi.

3.2.3.8. Tiyobarbitürik asit sayısı (TBA) tayini

10 g balık örneği 50 mL distile su ile homojenize edilmiş ve karışımın üzerine 47.5 mL distile su ve 2.5 mL 4N HCl eklenmiştir. Elde edilen karışım kjeldahl balonuna aktarılarak, balona köpürmeyi önlemek amacıyla cam boncuk atılmış ve balon kjeldahl distilasyon ünitesine bağlanmıştır. 50 mL distilat toplanıncaya kadar distilasyona devam edilmiştir. Toplanan distilattan cam tüplere 5 mL alınıp üzerine % 90'lık glasiyel asetik asitle hazırlanan tiyobarbitürik asit çözeltisinden 5 mL ilave edilerek, 35 dk kaynar su banyosunda tutulmuştur. Ardından tüpler hızlı bir şekilde soğutularak 538 nm dalga boyunda absorbans değerleri, 5 mL TBA reaktifi ve 5 mL distile su karışımı ile okunmuştur (Shimadzu, Kyoto, Japonya). Elde edilen absorbans değeri 7.8 ile çarpılarak mg malondialdehit/kg (mg MDA/kg) olarak TBA sayısı hesaplanmıştır (Tarladgis ve ark., 1960).

3.2.3.9. İstatistiksel analiz

Araştırma sonrasında elde edilen veriler JMP (MODEL 9.0.2 SAS Institute, Inc., Cary, ABD) paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Veriler t-Testi ve tek yönlü ANOVA varyans analizine tabi tutulmuştur. Gruplar (K ve NK) arasındaki farklılıklar t-testiyle, depolama günleri arasında oluşan farklılıklar ise ANOVA testiyle belirlenmiştir. Tüm veriler ortalama±standart sapma olarak belirlenmiş ve ortalamalar arasındaki önem dereceleri Tukey çoklu karşılaştırma testi kullanılarak $p<0.05$ önem seviyesinde değerlendirilmiştir.





4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Elektrodöndürme Yönteminin Parametrelerinin Belirlenmesi Bulguları

Düzgün yapılı ve nano boyutta lif üretimi için çok sayıda deneme yapılmış ve voltaj değeri, akım, toplayıcı plaka ile taylor konisi arasındaki mesafe ve çözeltinin akış hızı gibi çeşitli önemli noktalar denenerek, ideal elektrodöndürme yönteminin parametreleri belirlenmiştir.

Nisin-kurkumin yüklü nanolif üretimi için elektrodöndürme cihazının voltaj değeri, 20 kV; akım değeri, 6 μ A, toplayıcı plaka ile taylor konisi arasındaki mesafe, 8 cm; çözeltinin akış hızı, 1.2 mL/saat olarak belirlenmiştir.

Çiçek (2016) tarafından yapılan çalışmada, kurkumin elektrodöndürme yöntemi ile gliadin proteininin içine enkapsüle edilerek kurkumin yüklü nanolifler üretilmiştir. Çalışmada toplayıcı plaka ve enjektörün ucu arasındaki mesafe 10 cm, çözelti besleme hızı 0.5 mL/saat ve voltaj değeri 15 kV olarak ayarlanmış ve sonuç olarak boncuksuz, düz homojen yapılı nanolifler üretildiği belirlenmiştir.

Ceylan ve ark. (2018b) yapmış oldukları bir çalışmada; probiyotik bakterilerin, polivinil alkol ve sodyum aljinat esaslı nanoliflerin içerisine enkapsüle edilmesi ve polivinil alkol ve sodyum aljinat bazlı nanoliflerin üretilmesi için elektrodöndürme yönteminin parametrelerini; 1.2 mL/saat çözelti akış hızı, 10 cm şırınga ucu ile toplayıcı plaka arası mesafe, 22 kV voltaj değeri ve 10 μ A akım değeri olarak belirlemişlerdir. Sonuç olarak boncuksuz, homojen yapılı nano boyutta lifler üretildiği belirlenmiştir.

Ceylan (2018d), elektrodöndürme yöntemi ile polivinil alkol tabanlı kitosan nanoparçacıkları üretimi için elektrodöndürme yöntemi parametrelerini; 0.6 mL/saat çözelti akış hızı, 22 kV voltaj değeri ve 9 cm mesafe olarak belirlemiştir.

Akman ve ark. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, elektrodöndürme yöntemi ile farklı miktarlarda kurkumin içeren homojen ve ince gliadin nanolifleri üretilmiştir. Çalışmada toplayıcı plaka ile şırınga ucu arasındaki mesafe 10 cm, voltaj değeri 15 kV ve akış hızı 0.5 mL/saat olarak belirlenmiştir.

Hirsch ve ark. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, polivinil alkol çözeltisinden elektrodöndürme yöntemi ile lif üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada

voltaj değeri 20 kV ve toplayıcı plaka ile şırınga ucu arasındaki mesafe 15 cm olarak belirlenmiştir.

Üretilen nanoliflerin özellikleri, elektrodöndürme yönteminde kullanılan parametrelerden oldukça etkilenmektedir. Bu nedenle her bir materyal için elektrodöndürme yönteminin bütün parametreleri belirlenmelidir. Bu çalışmada, PVA tabanlı nisin ve kurkumin yüklü nanolif üretimi için ideal elektrodöndürme yöntemi parametreleri sağlanarak, PVA tabanlı nisin-kurkumin yüklü nanolifler üretilmiştir.

4.2. Nanoliflerin Karakterizasyonu

4.2.1. Nisin-kurkumin yüklü nanoliflerin elektron mikroskobu görüntüleri (SEM) bulguları

Nanoliflerin morfolojisi SEM kullanılarak değerlendirilmiştir. Elektrodöndürme yöntemi ile elde edilen PVA tabanlı nisin-kurkumin yüklü nanoliflerin SEM görüntüleri Şekil 4.1.'de verilmiştir.

Elektrodöndürme yönteminde, homojen ve boncuksuz nanoliflerin üretilmesi hedeflenmektedir. Bu çalışmadan elde edilen SEM görüntüleri; boncuksuz, düz yapılı silindirik ve çapı 70-213.5 nm arasında değişen, ortalama 172 nm büyüklüğünde çapa sahip nanoliflerin üretiltiğini ortaya koymuştur.

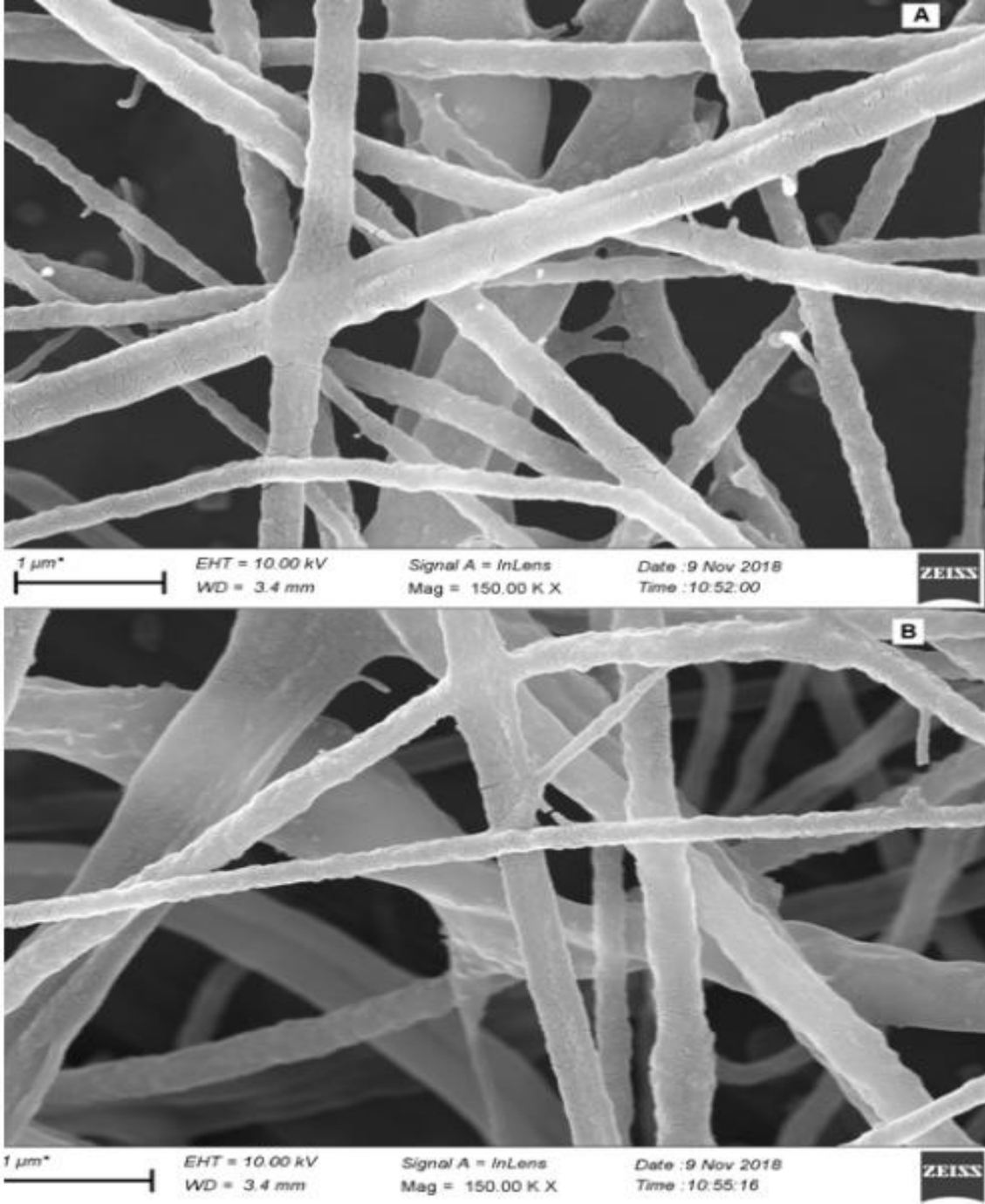
Litaretürde nanoliflerin çaplarıyla ilgili farklı farklı bulgular vardır. Lu ve ark. (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, jelatin bazlı nanoliflerin ortalama lif çapları 292 nm olarak belirlenmiştir. Mehrasa ve ark. (2015), poli laktik-ko-glikolik asitten (PLGA) üretilen nanoliflerin ortalama çapının 460 nm ve 640 nm arasında değiştiğini bildirmiştir. Wen ve ark. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, PVA bazlı nanoliflerin ortalama çapının 240 nm olduğu bildirilmiştir.

Mesafe, gerilim ve akış hızı gibi elektrodöndürme parametreleri üretilen nanoliflerin çapını etkileyebilmektedir. Nano malzemelerin çapının, antimikrobiyal aktiviteyi arttırmak için önemli olduğu ve düşük çaplı nano malzemelerin antimikrobiyal etkinliklerinin yüksek olduğu vurgulanmaktadır. Çünkü düşük çap; gıda ile daha yüksek temas alanı sağlayabilmektedir (Ohja ve ark, 2008; Donsi ve ark., 2011; Donsi ve Ferrari, 2016; Ceylan ve ark., 2017a). Donsi ve ark. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada, nanoemülsiyonlar içinde kapsüllenen bir terpen karışımının minimum

inhibitör konsantrasyonunun (MIC) ve minimum bakteri öldürücü konsantrasyonunun (MBC), saf terpen bileşiklerinin MIC ve MBC değerlerine eşit veya daha düşük olduğu ortaya konulmuştur. Araştırmacılar bu sonucu; hücre altı büyüklüğü nedeniyle, nano boyutlu antimikrobiyal maddelerin taşıma mekanizmalarının geliştirilmesine, antimikrobiyal maddelerin hedef mikroorganizma hücrelerine daha iyi nüfuz etmesine ve böylece antimikrobiyal etkinliğin artmasına bağlamışlardır.

Bu çalışmada elde edilen SEM bulguları; PVA tabanlı nisin-kurkumin yüklü nanoliflerin üretiminin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini ve mikroorganizmalar üzerine daha etkili olabileceği düşünülen küçük çaplı liflerin elde edildiğini ortaya koymuştur.



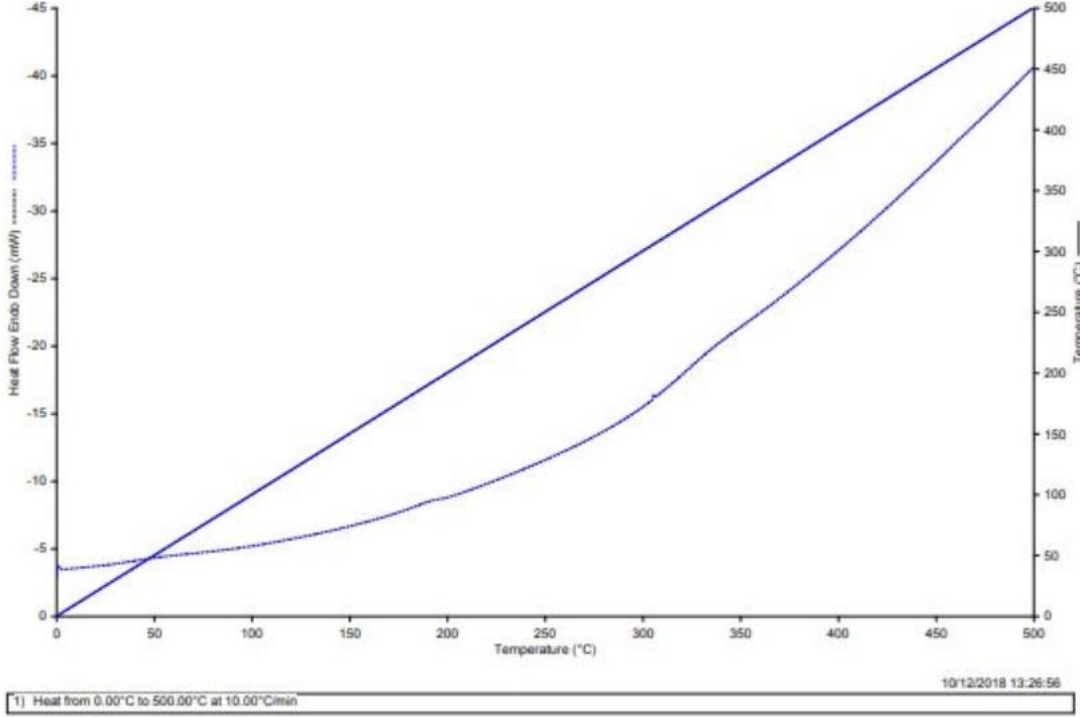


Şekil 4.1. PVA tabanlı nisin-kurkumin yüklü nanoliflerin SEM görüntüleri.

4.2.2. Nisin-kurkumin yüklü nanoliflerin termal karakterizasyon bulguları

Gıda teknolojinde kullanılan malzemelerin termal özellikleri, bu malzemelerin ısı işleme uygunluğunu anlamak için önemli parametrelerden birisidir. Bu bakımdan,

PVA tabanlı nisin-kurkumin yüklü nanoliflerin DSC analizi yapılmış ve elde edilen nanoliflerin, DSC grafiği Şekil 4.2.'de verilmiştir.



Şekil 4.2. PVA tabanlı nisin-kurkumin yüklü nanoliflerin DSC grafiği.

Sıcaklığın artması esnasında nanoliflerde keskin bir bozulma oluşmadığı ve nanoliflerin bozulmasının yaklaşık 200°C'de başladığı, ayrıca sıcaklığın 200°C'den 500°C'ye artmasıyla termal bozulmanın kademeli olarak arttığı belirlenmiştir. Nanoliflerin bu şekilde bir termal davranış sağlaması önemli avantajlar sağlayabilmektedir. Liflerin doğrudan bozulmasına bağlı herhangi bir tepe noktası belirlenememiştir. Sonuç olarak PVA tabanlı nisin-kurkumin yüklü nanoliflerin başarılı bir şekilde üretildiği belirlenmiştir.

Ceylan ve ark. (2018c) tarafından yapılan bir çalışmada, *Lactobacillus rhamnosus* yüklü poli(vinil)alkol ve sodyum aljinat bazlı nanolifler (LR) ile poli(vinil)alkol ve sodyum aljinat bazlı nanolifler (PS) üretildikten sonra termal özelliklerinin belirlenmesi için DSC analizi gerçekleştirilmiştir. DSC analizi sonucunda PS ve LR numuneleri için endotermik pikler 50°C' de belirlenmiştir.

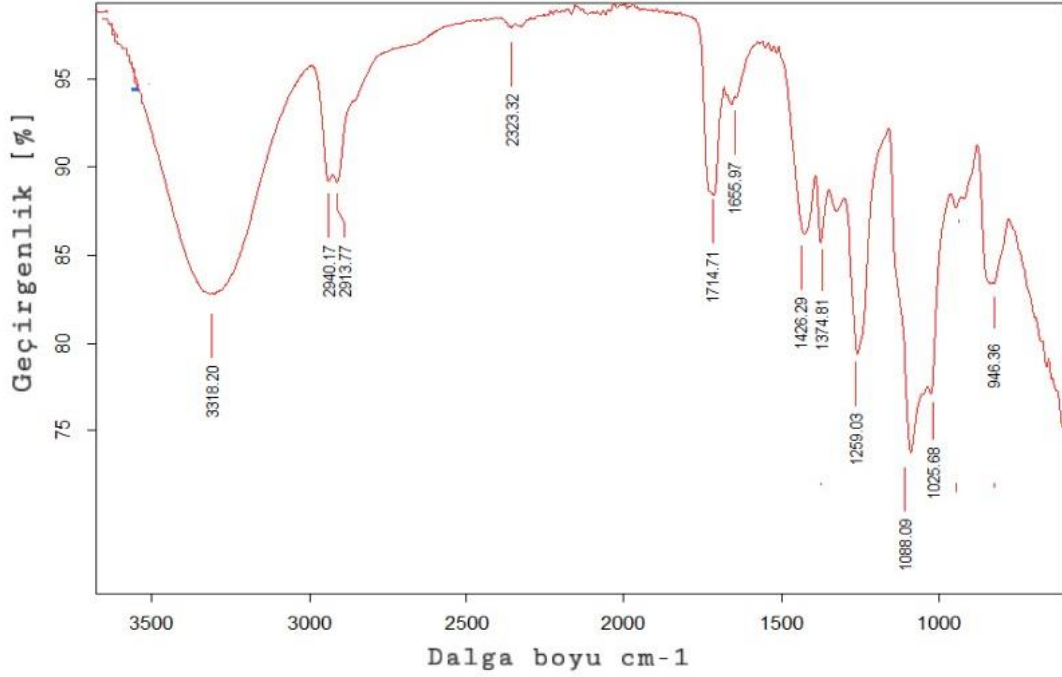
Erdal ve ark. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, elektrodöndürme yöntemiyle üretilen farklı sayıda nanolif tabaka ile güçlendirilmiş epoksi reçinesinin mekanik ve ısıl özellikleri incelenmiştir. Nanolif katmanlı kompozitlerin termal özellikleri diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi ile belirlenmiştir. DSC analizi sonucunda 297°C ile 309°C arasındaki sıcaklıklarda yüksek kütle kaybının meydana geldiği belirlenmiştir.

4.2.3. Nisin-kurkumin yüklü nanoliflerin moleküler karakterizasyon (ATR-FTIR) bulguları

Fourier dönüşümlü kızılötesi (ATR-FTIR) spektroskopisi, farklı gıda bileşenlerini değerlendirmek ve fonksiyonel grupların analizi için rutin analizlerde yaygın olarak kullanılan bir cihazdır.

PVA tabanlı nisin-kurkumin yüklü nanoliflerin ATR-FTIR spektrumu Şekil 4.3.'de gösterilmiştir. 3318 cm^{-1} 'de muhtemelen suda ve/veya kurkuminin aromatik gruplarında bulunan serbest ve bağlı hidroksil gruplarının varlığından kaynaklanan geniş ve güçlü bir bant belirlenmiştir. 2940 ve 2913 cm^{-1} 'deki bantlar; yan zincirlerden kaynaklanan metil, metilen ve metoksi gruplarındaki C-H gerilmesiyle, 2323 cm^{-1} 'deki bant ise CO_2 ile ilişkilendirilmiştir. Karbonil bölgesinde (1750-1700 cm^{-1}), karboksilik aside karşılık gelen 1714 cm^{-1} 'de keskin bir pik belirlenmiştir. Numunelerin protein içeriği ile ilgili 1655 cm^{-1} 'de bir bant belirlenmiş ve bu bant, polipeptid yapısındaki nisin PVA tabanlı nanoliflere başarılı bir şekilde yüklendiğine işaret etmiştir (Ceylan ve Topçu, 2014; Mainka ve ark., 2015; Karataş ve ark., 2016; Yılmaz ve ark., 2016; Ceylan ve ark., 2017a). Altan ve ark. (2018), zein proteini için 1655 cm^{-1} de amid gruplarının varlığına işaret eden bir pik belirlemişlerdir.

Nanolif spektrumunda 1426 cm^{-1} 'de belirlenen pik, polisakkaritlerdeki halkaların CH_2 grubunun simetrik bükülmesine, 1374 cm^{-1} 'de bant, proteinlerden kaynaklan COO gruplarının simetrik gerilmesine atfedilmiştir. 1259 cm^{-1} de, C-N' nin gerilme titreşimleriyle; 1088 cm^{-1} 'de ise C-O-C bükülme titreşimleriyle ilgili bantlar belirlenmiştir (Xia ve ark., 2014; Kargarzadeh ve ark., 2015; Masaki ve ark., 2017; Altan ve ark., 2018). FTIR spektrumunda ayrıca 1025 cm^{-1} civarında C-O-C gerilmesiyle ve 946 cm^{-1} 'de karboksilik asidin OH gruplarıyla ilişkilendirilen iki bant belirlenmiştir.



Şekil 4.3. PVA tabanlı nisin-kurkumin yüklü nanoliflerin ATR-FTIR spektrumu.

4.2.4. Nisin-kurkumin yüklü nanoliflerin zeta potansiyel (ZP) analiz bulguları

Zeta potansiyeli (ZP), koloidal çözeltilerin stabilitesini tahmin etmek ve kontrol etmek için kullanılmaktadır (Cho ve ark., 2012). PVA tabanlı nisin-kurkumin yüklü nanoliflerin zeta potansiyeli 2.47 ± 0.68 mV olarak belirlenmiştir. Elektrodöndürme çözeltilisinde bulunan HCl nedeniyle pozitif zeta potansiyeli değeri elde edilmiştir.

Zeta potansiyel değeri, nanomalzemelerin fiziksel stabilitesinde önemli bir role sahiptir (Kaasalainen ve ark., 2012) ve ZP; pH, iyonik şiddet, bileşenlerin konsantrasyonu, bileşenin türü ve sıcaklık gibi değişkenlerden etkilenmektedir (Lu ve Gao, 2010).

Lu ve Gao. (2010), farklı pH değerlerine sahip olan kitosan çözeltilisinin ve kitosan partüküllerinin ZP'sinin 10 mV ile 50 mV arasında bulunduğunu bildirmiştir. Okutan ve ark. (2014), jelatin bazlı nanoliflerin ZP değerlerinin 3.79 mV ile 21.90 mV arasında olduğunu tespit etmişlerdir.

Parçacık boyutu ve ZP, antibakteriyel aktiviteyi etkileyen parametrelerden birisidir. Pozitif ZP değerlerinin, partikülün hücreye nüfuz etme yeteneğini arttırdığı

belirlenmiştir. Negatif yüklü bakteri yüzeyleri ile pozitif ZP'ye sahip nanoliflerin elektrostatik etkileşimi; partikülleri bakteri hücrelerine çekmekte ve partikülleri hücre zarına girmeye teşvik etmektedir (Lu ve Gao, 2010; Seil ve Webster, 2012). Simon-Deckers ve ark. (2009) tarafından yapılan bir çalışmada, bakteri canlılığını azaltmada yetersiz olan titanyum dioksit nanoparçacıklarının ya büyük (770 nm çapında) ya da negatif bir ZP'ye sahip olduğu gösterilmiştir. Henderson (2018), pozitif yüzey yükünün, hücre ile lif yüzeyinin bağlanmasını teşvik ettiğini belirtmiştir.

4.3. Gökkuşluğu Alabalık Filetolarının Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi

4.3.1. Toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayımı bulguları

Kontrol (K) ve nisin-kurkumin yüklü nanoliflerle kaplı (NK) balık örneklerinin toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayısında meydana gelen değişimler Şekil 4.4. ve Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayısında meydana gelen istatistiksel değişimler (log kob/g)

Gün	K	NK
0	2.47±0.01	-
2	4.80±0.03 ^{aD}	2.89±0.16 ^{bF}
4	6.61±0.10 ^{aC}	3.28±0.02 ^{bE}
6	7.63±0.08 ^{aB}	3.59±0.00 ^{bD}
8	8.39±0.08 ^{aA}	4.70±0.11 ^{bC}
10	8.61±0.15 ^{aA}	5.37±0.09 ^{bB}
12	8.42±0.23 ^{aA}	6.12±0.13 ^{bA}

Değerler ortalama±standart sapma şeklinde verilmiştir. K: Kontrol grubu (kaplanmayan grup). NK: Nisin-kurkumin yüklü nanoliflerle kaplanan grup. ^{a-b} Aynı muhafaza gününde farklı gruplar arasındaki farkı ifade etmektedir ($p<0.05$). ^{A-F} Farklı muhafaza günlerinde, aynı grup arasındaki farkı ifade etmektedir ($p<0.05$).

Ham materyalin TMAB için başlangıç kalitesi belirlenmiş ve TMAB yükü 2.47 log kob/g olarak bulunmuştur. Daha önce yapılan çalışmalarda, gökkuşluğu alabalığının başlangıç TMAB yükünün 2.8 ve 3 log kob/g arasında değiştiği belirlenmiştir (Frangos ve ark., 2010; Ceylan ve ark., 2018b).

Muhafazanın 2. gününde K grubu gökkuşağı alabalık filetosunun TMAB değeri 4.80 log kob/g olarak elde edilirken, NK yüklü nanoliflerle kaplanan gökkuşağı alabalık filetosunun TMAB değeri daha düşük ve ham materyalin sahip olduğu kaliteye yakın (2.89 log kob/g) bulunmuştur. Muhafaza boyunca gruplar arasındaki fark, istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$).

Muhafaza günlerinin ilerlemesiyle birlikte K ve NK grubu örneklerin TMAB yükünde istatistiksel olarak önemli artışlar meydana gelmiş ($p < 0.05$) ve K grubu örneklerde meydana gelen artış, NK grubuna kıyasla daha hızlı olmuştur. Balık filetolarının raf ömrü ve kalitesi TMAB sayısına göre belirlenmekte ve TMAB sayısının 6-7 log kob/g'a ulaştığı muhafaza günü, bozulmanın başladığı gün olarak tanımlanmaktadır (ICMSF 1992; Chotimarkorn 2011).

Bu çalışmada K grubu yani kaplanmamış olan örneğin TMAB sayısı, muhafazanın 4. gününde 6.61 kob/g'a ulaşmış, aynı gün nisin-kurkumin yüklü nanoliflerle kaplanan grubun TMAB sayısı, 3.28 kob/g olarak bulunmuştur. K örneğinin TMAB sayısı, NK grubundan yaklaşık 2 kat yüksek bulunmuştur. Diğer bir deyişle; kontrol grubu örnekler, muhafazanın 4. gününde insan tüketimine uygun olmayan bir hale gelirken, 4. muhafaza gününde NK grubu örnekler, tüketilebilir özelliklerini korumuşlardır.

K grubu örnekler tüketilemez forma gelmesine rağmen, NK grubu örneklerin bozulacağı günü belirlemek için örneklerin buzdolabı sıcaklığında depolanmasına devam edilmiştir. Muhafazanın 6. gününde K grubunda TMAB yükü; 7.63 log kob/g; NK grubunda 3.59 log kob/g olarak bulunmuştur. Bu değer, muhafazanın 8. gününde K grubu için 8.39 log kob/g; NK grubu için 4.70 log kob/g olarak kaydedilmiş ve soğuk muhafazanın ($4 \pm 2^\circ\text{C}$) 8. gününde dâhi nisin-kurkumin yüklü nanoliflerle kaplanan grupta bozulmanın henüz başlamadığı belirlenmiştir.

TMAB sayısı, muhafazanın 10. gününde K grubu için 8.61 log kob/g'a, NK grubu için 5.37 log kob/g' a ulaşmıştır. Muhafazanın 12. gününde ise kontrol grubu örneğin TMAB sayısı 8.42 log kob/g olarak belirlenmiş ve nisin-kurkumin yüklü nanoliflerle kaplanan NK grubunun TMAB yükü, sınır değer olarak kabul edilen 6 log kob/g değerine ulaşmıştır (6.12 log kob/g).

Nykanen ve ark. (1999) tarafından yapılan çalışmada, laktik asit ve nisin-peynir altı suyunun gökkuşağı alabalığının mikrobiyolojik kalitesi üzerine etkisi incelenmiştir.

Yapılan çalışmada, balık filetolarının bir kısmına laktik asit bir kısmına ise nisin-peynir altı suyu enjekte edildikten sonra filetolar, dilimlenip, vakumlanarak 3°C'de 29 gün boyunca muhafaza edilmiştir. Her 3 grupta da 22. muhafaza gününde sınır değeri aşılmıştır. Nisin-peynir altı suyu ile muamele edilmiş grubun TMAB yükünün daha düşük değerlerde arttığı belirlenmesine rağmen kontrol grubu ile bu grubun TMAB yükü arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunamamıştır.

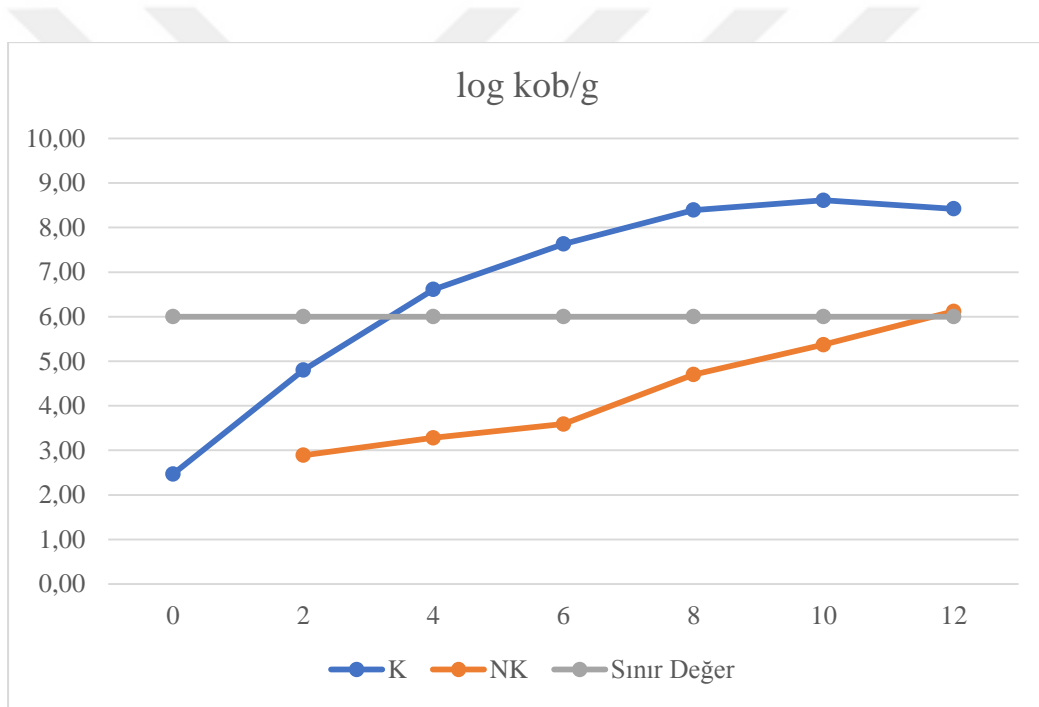
Zuckerman ve Avraham (2002), bakteriyosin çözeltilerinin (Microgard™ ve Nisin) balık örneklerinin TMAB yükü üzerine etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada, örnekler -6°C'de 6 gün süreyle muhafaza edilmiştir. Muhafaza sonunda nisin ile muamele edilmiş örneklerin TMAB sayısının kontrol grubu örneklerin TMAB sayısından 2 log düşük olduğu ve muamele edilmiş grubun raf ömrünün, 3-4 gün uzatıldığı belirlenmiştir. Zuckerman ve Avraham (2002), mikroorganizma sayısında 2 log azalmayı, % 10 microgard⁺ % 0.2 nisin çözeltisi kullanarak elde etmişlerdir.

Gao ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada, biberiye ekstraktı ve nisin 4°C'de 15 gün muhafaza edilen balığın kalitesi üzerine etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda, TMAB sayısında biberiye ve nisin kombinasyonunun 1 log kob/g azaltma sağladığı belirlenmiştir.

Lopez ve ark. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, nisin muamesinin buzdolabında (4°C) muhafaza edilen ve vakumla paketlenmiş gökkuşuğu alabalığı örneklerinin raf ömrü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Muhafaza süresi boyunca TMAB sayısı yavaş yavaş artmış ve 5. muhafaza gününde mikrobiyal bozulmaya bağlı olarak sınır değere ulaşmıştır. Nisin ile muamele edilen gökkuşuğu alabalıklarında TMAB sayısı kontrole kıyasla yaklaşık 1 log kob/g azalmıştır.

Nisin antimikrobiyal özelliğe sahip bir maddedir ve daha önce yapılan çalışmalar nisin sardunya (Göğüs ve ark., 2006), çim sazani (Langroudi ve ark., 2011) ve levrek (Ceylan, 2014) gibi deniz ürünlerinde toplama bakteri yükünü azalttığını ortaya koymuştur. Fakat bahsi geçen bu çalışmalarda nisin ile muamele edilmiş örneklerin raf ömrüyle, muamele edilmemiş gruplar arasındaki raf ömrü arasındaki farklar, bizim çalışmamızda elde edilen farktan daha düşüktür. Bu çalışmada, NK grubu örneklerin raf ömrü, nisin-kurkumin yüklü nanoliflerle uzatılmış ve kontrol örneğine kıyasla 3 kat arttırılmıştır. Kontrol örneğinin TMAB değeri limit değere 4. muhafaza gününde ulaşırken, NK grubu limit değere 12. muhafaza gününde ulaşmıştır. Ayrıca bu

çalışmada kullanılan nisin miktarı, daha önce yapılan çalışmalarda kullanılan nisin miktarından oldukça düşüktür. Muhafazanın son gününde iki grubun TMAB sayısı arasında 2 log fark bulunmuş ve bu fark sadece 15-20 mg nanolif kullanılarak elde edilmiştir. Çalışmamızda TMAB sayısını sınırlandırmak için kullandığımız nisin miktarını, daha önce yapılan çalışmalarda kullanılan nisin miktarıyla karşılaştırdığımızda; daha düşük miktarlardaki materyal ile, daha yüksek oranda bakteri sınırlanması sağladığımız ortaya konulmuştur. Nisin ve kurkumin kombinasyonunun nano boyuta indirgenmesiyle, nisin ve kurkuminin yüzey alanı genişletilmiş ve artan yüzey alanıyla hem daha fazla balık yüzeyinin kaplanması hem de nisin ve kurkuminin temas edeceği yüzeyin artırılması da sağlanmıştır.



Şekil 4.4. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayısında meydana gelen değişimler (log kob/g).

4.3.2. Toplam laktik asit bakteri (TLAB) sayımı bulguları

Soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde balık örneklerinin (K ve NK) toplam laktik asit bakteri (TLAB) sayısında meydana gelen değişimler grafiksel olarak Şekil 4.5.'de istatistikleri ile birlikte Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde toplam laktik asit bakterisi (TLAB) sayısında meydana gelen istatistiksel değişimler (log kob/g)

Gün	K	NK
0	1.03±0.05	-
2	3.41±0.01 ^{aE}	2.26±0.15 ^{bC}
4	5.32±0.03 ^{aD}	2.30±0.10 ^{bC}
6	6.71±0.01 ^{aC}	2.36±0.11 ^{bC}
8	7.11±0.00 ^{aB}	2.39±0.08 ^{bC}
10	7.05±0.05 ^{aB}	2.99±0.30 ^{bB}
12	7.63±0.17 ^{aA}	3.84±0.14 ^{bA}

Değerler ortalama±standart sapma şeklinde verilmiştir. K: Kontrol grubu (kaplanmayan grup). NK: Nisin-kurkumin yüklü nanoliflerle kaplanan grup. ^{a-b} Aynı muhafaza gününde farklı gruplar arasındaki farkı ifade etmektedir ($p<0.05$). ^{A-E} Farklı muhafaza günlerinde, aynı grup arasındaki farkı ifade etmektedir ($p<0.05$).

Ham materyal için başlangıç TLAB kalitesi belirlenmiştir ve TLAB yükü 1.03 log kob/g olarak elde edilmiştir. Mirshekari ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmada, taze gökkuşacağı alabalık filetosunun ilk TLAB yükü 1.30 log kob/g olarak belirlenmiştir. Can ve Çoban (2012), gökkuşacağı alabalığının başlangıç LAB yükünü 1.5 log kob/g olarak, Sofra ve ark. (2018), ise tuna balığının TLAB değerini 1.9 log kob/g olarak belirlemişlerdir. Bu çalışmalardan elde edilen bulgular, bizim çalışmamız ile uyum göstermektedir.

Muhafaza boyunca NK grubunun TLAB sayısı yavaş bir artış gösterirken, K grubunun TLAB sayısı hızlı bir artış göstermiştir. Kontrol grubu için, muhafazanın 2. gününde 3.41 log kob/g olan TLAB sayısı, muhafazanın sona erdiği 12. günde 7.63 log kob/g olmuştur. NK grubu için TLAB sayısı, muhafazanın 2. gününde 2.26 log kob/g olarak elde edilmiş ve muhafazanın son gününde TLAB sayısı 3.83 log kob/g olarak tespit edilmiştir. Oğuzhan ve Angiş (2012), gökkuşacağı alabalık filetolarının LAB yükünün muhafaza günleriyle arttığını ifade etmiştir. Yu ve ark. (2017), balığın başlangıç LAB değerinin 2.8 log kob/g olduğunu ve LAB yükünün soğuk muhafaza periyodunun son gününde 6.6 kob/g' a ulaştığını belirlemiştir. Sofra ve ark. (2018), tuna balığının muhafazanın son günündeki LAB yükünün, 8.3 log kob/g' a ulaştığını ortaya koymuşlardır. Sofra ve ark. (2018)'e göre, balığın başlangıç LAB yükü oldukça düşüktür fakat muhafaza günleriyle birlikte balıkta LAB yükü hızla artmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı LAB değeri, özellikle vakumla paketlenen balıklarda bozulma indeksi olarak kullanılmaktadır.

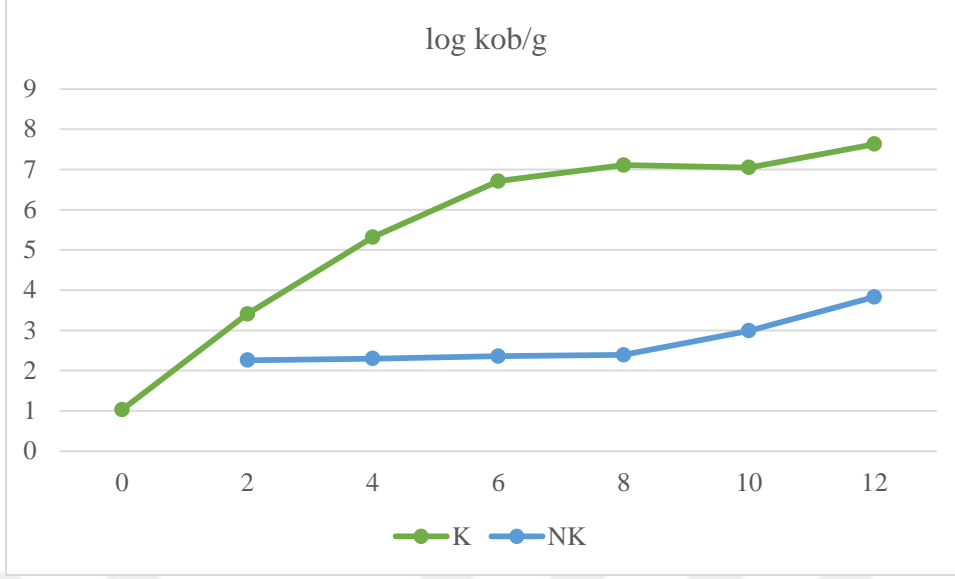
Çizelge 4.2.'den görüleceği gibi, muhafaza boyunca K grubu ile NK grubunun TLAB yükü arasında istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) farklılıklar elde edilmiştir.

Zakipour Rahimabadi ve ark. (2013), *Z. multiflora* esansiyel yağı ve nisinin, taze gökkuşacağı alabalığı filetosunun üzerine etkilerini incelemişlerdir. Nisin ve *Z. multiflora* esansiyel yağının ayrı ayrı ve kombine bir şekilde kullanılması ile LAB sayısının önemli ölçüde azaltıldığı tespit edilmiştir.

Behnam ve ark. (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, nisin ile kaplanmış gökkuşacağı alabalık filetoları vakumla paketlenmiş ve 4°C'de 16 gün boyunca muhafaza edilmiştir. Kontrol grubu ve nisin ile muamele edilen örneklerin başlangıç LAB değerleri sırası ile 2.12 ve 1.97 log kob/g olarak tespit edilmiştir. Muhafaza günleri ilerledikçe kontrol grubundaki LAB değeri artmıştır ve muhafazanın son gününde 5.16 log kob/g olarak bulunmuştur. Nisin ile muamele edilen grupta ise ters bir eğilim belirlenmiş ve LAB yükü muhafazanın son gününde 1.51 log kob/g olarak bulunmuştur.

Mirshakari ve ark. (2016), nisin-Z ve sodyum benzoatın etkisini incelemek için *R. frisia* filetoalarını vakumla paketlenerek 4°C'de 16 gün muhafaza etmişlerdir. Muhafaza süresinin artmasıyla LAB miktarının arttığı belirlenmiştir ancak kontrol grubundaki artışın nisin ile muamele edilen gruptan yüksek olduğu belirlenmiştir. Muhafazanın son gününde LAB sayısı kontrol grubu için 6.25 log kob/g olarak belirlenmiştir.

Laktik asit bakterileri Gram (+) bakteriler olarak hem anaerobik hemde aerobik koşullarda gelişebilen fakültatif anaerobik bakterilerdir ve LAB'ın taze alabalık filetoalarının mikroflorasının bir parçası olduğu düşünülmektedir. Nisinin bakterisidal aktivitesinin çoğunlukla Gram (+) bakterilerini etkilediği bilinmektedir. Ayrıca nisinin Gram (+) bakteriler içerisinde de öncelikli olarak laktik asit bakterilerine etki ettiği bilinmektedir (Üstümkol, 2006; Behnam ve ark., 2015). Literatür incelendiğinde bu çalışmanın bulgularının literatür ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Nisin-kurkumin kombinasyonunun nanoboyuta indirgenmesi ile genişletilmiş yüzey alanı sağlanmış ve bu nanoliflerin gökkuşacağı alabalık filetosunun TLAB sayısını önemli ölçüde sınırlandırdığı belirlenmiştir. Nanolif uygulaması muhafaza süresi boyunca TLAB popülasyonunda 3-4 logaritmik bir sınırlama sağlamıştır.



Şekil 4.5. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde toplam laktik asit bakteri (TLAB) sayısında meydana gelen değişimler (log kob/g).

4.3.3. Toplam maya-küf (TMK) sayımı bulguları

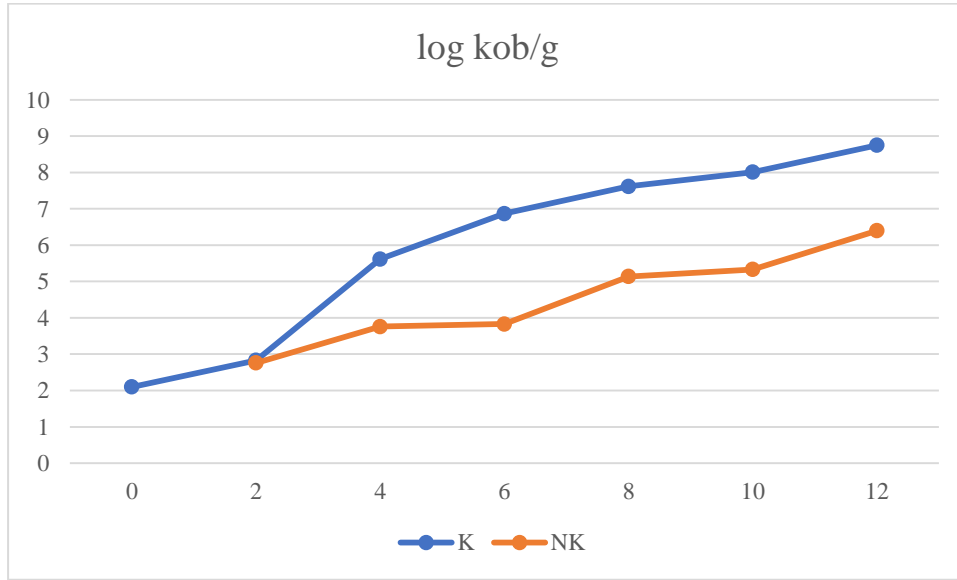
Şekil 4.6. ve Çizelge 4.3.'de balık örneklerinin TMK yükü verilmiştir. Ham materyal için başlangıç TMK kalitesi belirlenmiştir ve TMK değeri 2.1 log kob/g olarak elde edilmiştir. Muhafazanın 2. gününde K grubu için TMK yükü, 2.83 log kob/g olarak belirlenmiştir. NK grubunda bu değer, 2.76 log kob/g olarak bulunmuş ve muhafazanın 2. gününde gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunamamıştır ($p>0.05$). Muhafaza günlerinin ilerlemesiyle, her iki grubun (K ve NK) TMK yükünde istatistiksel olarak önemli farklılıklar tespit edilmiştir ($p<0.05$). Muhafazanın 4. gününde K grubu TMK yükü, 5.62 log kob/g olarak bulunurken, NK grubu TMK değeri, 3.76 log kob/g olarak bulunmuştur. Muhafazanın 6. gününde kontrol grubunda TMK yükü 6.87 log kob/g'a yükselmiştir. Bu muhafaza gününde TMK yükü, nisin-kurkumin yüklü nanoliflerle kaplanan grupta 3.83 log kob/g olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.3. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde toplam maya-küf (TMK) sayısında meydana gelen istatistiksel değişimler (log kob/g)

Gün	K	NK
0	2.10±0.00	-
2	2.83±0.13 ^{aE}	2.76±0.08 ^{aC}
4	5.62±0.04 ^{aD}	3.76±0.13 ^{bC}
6	6.87±0.16 ^{aC}	3.83±0.07 ^{bC}
8	7.62±0.24 ^{aB}	5.14±0.05 ^{bB}
10	8.01±0.24 ^{aB}	5.33±0.53 ^{bB}
12	8.75±0.18 ^{aA}	6.40±0.30 ^{bA}

Değerler ortalama±standart sapma şeklinde verilmiştir. K: Kontrol grubu (kaplanmayan grup). NK: Nisin-kurkumin yüklü nanoliflerle kaplanan grup. ^{a-b} Aynı muhafaza gününde farklı gruplar arasındaki farkı ifade etmektedir ($p<0.05$). ^{A-E} Farklı muhafaza günlerinde, aynı grup arasındaki farkı ifade etmektedir ($p<0.05$).

Muhafazanın 8. 10. ve 12. gününde K grubunun TMK yükü sırasıyla; 7.62, 8.01 ve 8.75 log kob/g olarak kaydedilmiştir. Muhafazanın 8.10 ve 12. gününde nisin-kurkumin yüklü nanoliflerle kaplanan NK grubunun TMK değerleri kontrol grubundan düşük bulunmuş ($p<0.05$) ve 5,14, 5.33 ve 6.40 şeklinde sıralanmıştır. Çizelge 4.3. ve Şekil 4.6.'dan görüleceği gibi nisin-kurkumin yüklü nanolifler toplam maya küf sayısını önemli oranda düşürmüştür.



Şekil 4.6. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde toplam maya-küf (TMK) sayısında meydana gelen değişimler (log kob/g).

Oğuzhan ve Angiş (2012), taze gökkuşaağı alabalık filetosunun ilk TMK yükünü 2.08 log kob/g olarak belirlemiştir. Bizim çalışmamızda ise başlangıç TMK değeri 2.1

log kob/g olarak elde edilmiştir ve çalışma bulgularının literatür ile uyum sağlandığı belirlenmiştir. K grubunda NK grubuna göre muhafazanın 2. gününden sonra daha hızlı bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca muhafaza süresi boyunca NK grubunda K grubuna göre 2 log kob/g'lık bir sınırlama sağlandığı belirlenmiştir.

Nisinin antifungal etkinliğe sahip olmadığı çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur (Ceylan, 2014). Bu çalışmada elde edilen antifungal etkinlik, muhtemelen kurkumin nedeniyle sağlanmıştır.

Arıyapıtıpın ve ark. (2000) tarafından yapılan bir çalışmada, nisinin Gram (+) bakterilere ve sporlara etkili olduğu fakat maya ve küflere karşı etkili olmadığı belirlenmiştir.

Ceylan (2014) tarafından yapılan bir çalışmada, levrek balığı filetoları kontrol, nisin, ışınlama ve nisin-ışınlama kombinasyonu olacak şekilde dört farklı gruba ayrılmış, filetolar $2\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de 25 gün muhafaza edilmiş ve toplam maya-küf gelişimi izlenmiştir. TMK için, kontrol ve nisin uygulanmış gruplar arasında istatistiki bir fark bulunamamıştır ($p>0.05$). Işınlanmış ve nisin-ışınlama kombinasyonu uygulanmış grupların TMK değerlerinde düşme belirlenmiştir ($p<0.05$). Bu çalışma sonucunda, nisinin toplam maya-küf gelişimi üzerinde tek başına yeterli olmadığı, ışınlamanın maya-küf gelişimini önlediği, nisin-ışınlama kombinasyonunun ise çok daha başarılı sonuç verdiği ifade edilmiştir.

Abdou ve ark. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, soğutulmuş tavuk filetolarının raf ömrünün uzatılması için nanoemülsiyon kaplama tekniği kullanılmıştır. Bu araştırmacılar, tavuk filetolarını dört gruba ayırmış ve filetoları sırasıyla kurkumin-tarçın esansiyel yağ nanoemülsiyonu ile, kurkumin-sarımsak esansiyel yağ nanoemülsiyonu ve kurkumin-ayçiçek yağ nanoemülsiyonu ile kaplamışlardır. 4°C 'de 12 gün boyunca muhafaza edilen filetolarda maya-küf gelişimi tespit edilmiştir. Muhafazanın 3. gününde kontrol grubu ve kurkumin-ayçiçek uygulanmış grupta maya-küf gelişimi gözlemlenirken, diğer iki grupta muhafazanın 6. gününe kadar maya-küf gelişimi olmadığı tespit edilmiştir.

Sun ve ark. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, balık jelatini ile kurkumin/ β -siklodekstrin emülsiyonları birleştirilerek yenilebilir bir kaplama geliştirilmiş ve çim sazı filetosu bu kaplama ile kaplanarak, filetoların raf ömrünün uzatılması hedeflenmiştir. 4°C 'de 15 gün boyunca muhafaza edilen balık filetolarında

maya-küf gelişimi izlenmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, kurkumin miktarı artırılarak kaplanan grupta kontrol grubuna ve diğer gruplara göre daha iyi bir koruma sağlandığı belirlenmiştir.

Nisinin antimikrobiyal etkinliği daha çok Gram (+) bakteriler üzerinedir. Nisinin, Gram (-) ve maya-küfler üzerine daha az etkisinin bulunduğu, farklı maddeler ile kombine edildiğinde ise etkisinin arttığı daha önce yapılan çok sayıda çalışma ile ortaya konmuştur. Kurkuminin ise maya-küfler üzerinde antimikrobiyal etkinliği olduğu bilinmektedir. Literatür incelendiğinde kurkuminin hem tek başına hem de diğer tekniklerle kombine edilerek uygulanmasıyla maya-küf gelişiminin geciktirildiği belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmada nisin-kurkumin yüklü nanoliflerle kaplanan balık filetolarının TMK değerlerinde önemli düşüşler olduğu belirlenmiştir. TMK yükünde meydana gelen düşüş, nisinden ziyade kurkumine bağlamıştır. Toplam 15-20 mg nanolif içerisinde oldukça düşük düzeyde bulunan kurkumin, önemli oranda antifungal etkinlik sağlamıştır.

4.3.4. Duyusal analiz bulguları

Duyusal analiz kapsamında K ve NK gruplarına ait gökkuşağı alabalık filetolarının koku, renk, doku ve genel değerlendirme sonuçları değerlendirilmiştir. Koku, renk, doku ve genel değerlendirme sonuçları sırasıyla Şekil 4.7., Şekil 4.8., Şekil 4.9., Şekil 4.10., Çizelge 4.4., Çizelge 4.5., Çizelge 4.6. ve Çizelge 4.7.'de verilmiştir. Tatlı su ve deniz canlıları kolayca bozula bilmektedirler (Sofra ve ark., 2018; Ceylan, 2017b). Stone ve Sidel (2004), duyusal analiz kalite değerlendirilmesinde duyusal analiz skorunun 4 ve altında olduğu durumlarda balık filetolarının tüketilemez olduğunu ve 9 puanın ise en üst kaliteyi temsil ettiğini belirtmiştir.

Yapılan bu çalışmada maksimum raf ömrü toplam mezofilik bakteri sayısının 6 log kob/g'a ulaştığı ve duyusal analiz skorunun ≤ 4 olduğu zaman olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 4.4. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde duyusal analiz koku skorunda meydana gelen istatistiksel değişimler

Gün	K	NK
0	9.00±0.00	-
2	7.00±0.00 ^{bA}	9.00±0.00 ^{aA}
4	4.00 ±0.00 ^{bB}	9.00±0.00 ^{aA}
6	1.33±0.57 ^{bC}	9.00±0.00 ^{aA}
8	1.66±0.57 ^{bC}	8.00±0.00 ^{aB}
10	1.66±0.57 ^{bC}	5.16±0.28 ^{aC}
12	1.66±0.57 ^{aC}	2.00±0.00 ^{aD}

Değerler ortalama±standart sapma şeklinde verilmiştir. K: Kontrol grubu (kaplanmayan grup). NK: Nisin-kurkumin yüklü nanoliflerle kaplanan grup. ^{a-b} Aynı muhafaza gününde farklı gruplar arasındaki farkı ifade etmektedir ($p<0.05$). ^{A-D} Farklı muhafaza günlerinde, aynı grup arasındaki farkı ifade etmektedir ($p<0.05$).

Duyusal analiz panelinde ham materyalin koku skoru 9.00 puan olarak belirlenmiştir. Muhafazanın 2. gününde K grubu gökkuşacağı alabalık filetosunun koku skoru 7.00 puan olarak kaydedilirken, NK yüklü nanoliflerle kaplanan gökkuşacağı alabalık filetosunun duyusal analiz koku skoru ham materyalin sahip olduğu kalite ile aynı (9.00 puan) bulunmuştur. Muhafaza boyunca gruplar arasındaki fark 12. gün haricinde, istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$).

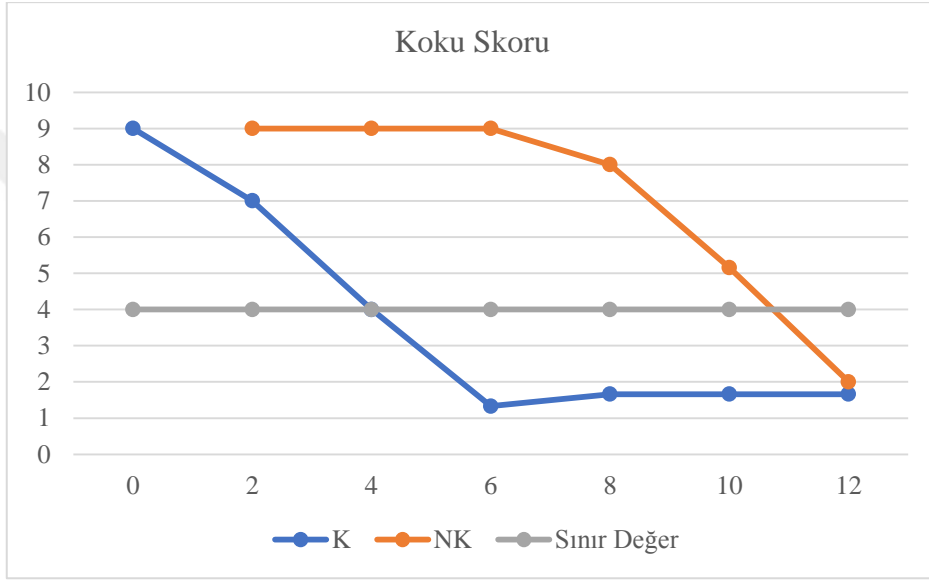
Muhafaza günlerinin ilerlemesiyle birlikte K ve NK grubu örneklerinin duyusal analiz koku skorunda istatistiksel olarak önemli düşmeler meydana gelmiş ($p<0.05$) ve K grubu örneklerde meydana gelen düşüş, NK grubuna kıyasla daha hızlı olmuştur.

K grubu örneklerinin duyusal analiz koku skoru, muhafazanın 4. gününde 4.00 puana düşmüş, aynı gün nisin-kurkumin yüklü nanoliflerle kaplanan grubunun duyusal analiz koku skoru, ham materyalin sahip olduğu kalitede (9.00 puan) bulunmuştur. Kontrol grubu örnekler, muhafazanın 4. gününde duyusal analiz koku parametresi bakımından insan tüketimine uygun olmayan bir hale gelirken, 4. muhafaza gününde NK grubu örnekler, tüketilebilir özelliklerini korumuştur.

K grubu örnekler tüketilemez forma gelmesine rağmen, NK grubu örneklerin bozulacağı günü belirlemek için örneklerin buzdolabı sıcaklığında muhafaza edilmesine devam edilmiştir. Muhafazanın 6. gününde K grubu duyusal analiz koku skoru; 1.33 puan; NK grubunda 9.00 puan olarak bulunmuştur. Bu değer, muhafazanın 8. gününde K grubu için 1.66 puan; NK grubu için 8.00 puan olarak belirlenmiştir. Soğuk muhafazanın 8. gününde dâhi nisin-kurkumin yüklü nanoliflerle kaplanan grupta

bozulmanın henüz başlamadığı ve NK grubu örneklerin kokusunun ham materyalin sahip olduğu kaliteye yakın olduğu bulunmuştur.

Duyusal analiz koku skoru, muhafazanın 10. gününde K grubu için 1.66 puana, NK grubu için 5.16 puana ulaşmıştır. Muhafazanın 12. gününde ise K grubu örneğin duyu analizi koku puanı 1.66 olarak belirlenmiş ve nisin ve kurkumin yüklü nanoliflerle kaplanan NK grubunun duyu analizi koku skoru, sınır değeri olarak kabul edilen ≤ 4 puan değerine ulaşmıştır (2 puan).



Şekil 4.7. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde duyu analizi koku skorunda meydana gelen değişimler.

Mikrobiyal analiz sonuçlarının duyu analizi sonuçları ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. LAB sayısının bozulma indeksi olarak kullanıldığı ve bazı LAB suşlarının, bozulma ile ilişkili karakteristik kötü kokular ürettiği bilinmektedir (Sofra ve ark., 2018). Çalışmada, nisin-kurkumin yüklü nanolifler ile kaplanan örneklerin LAB yükünün yaklaşık 3-4 log sınırlanma belirlenmiştir. LAB sayısında nanoliflerle kaplanan grupta meydana gelen azalma, örneklerin koku parametresine de yansımış ve ham materyalin başlangıç kokusu, muhafaza günleri boyunca daha iyi korunmuştur.

Çizelge 4.5.'de renk skorunda meydana gelen değişimler sunulmuştur. Gökkuşaklı alabalığın başlangıç renk skoru 9.00 puan olarak belirlenmiştir. Muhafazanın 2. gününde K grubu gökkuşaklı alabalık filetosunun renk skoru 7.00 puan olarak elde edilirken, NK yüklü nanoliflerle kaplanan gökkuşaklı alabalık filetosunun

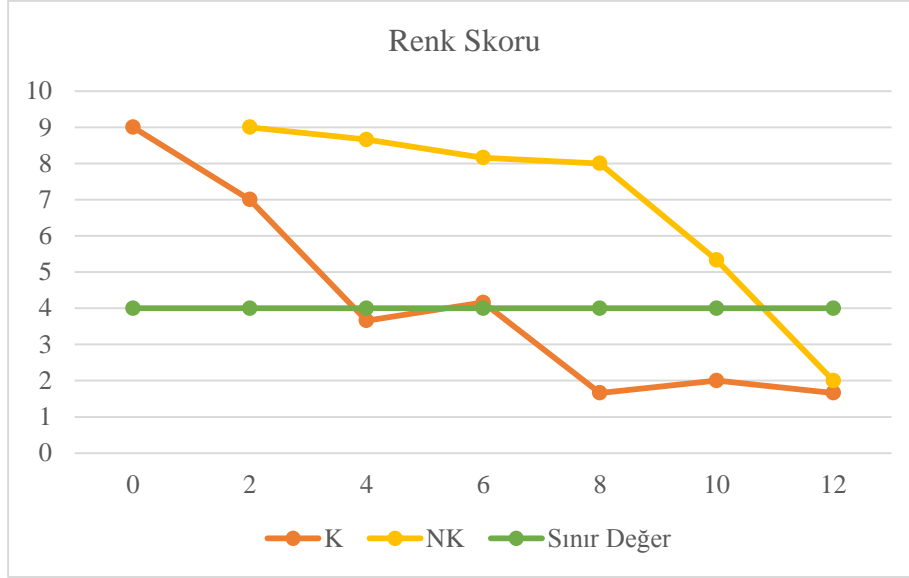
duyusal analiz renk skoru ham materyalin sahip olduğu kalite ile aynı (9.00 puan) bulunmuştur. Muhafaza boyunca gruplar arasındaki fark 12. gün haricinde, istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$).

Çizelge 4.5. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^\circ\text{C}$) günlerinde duyusal analiz renk skorunda meydana gelen istatistiksel değişimler

Gün	K	NK
0	9.00±0.00	-
2	7.00±0.00 ^{bA}	9.00±0.00 ^{aA}
4	3.66±0.57 ^{bB}	8.66±0.57 ^{aA}
6	4.16±0.28 ^{bB}	8.16±0.28 ^{aA}
8	1.66±0.57 ^{bC}	8.00±0.00 ^{aA}
10	2.00±0.00 ^{bC}	5.33±0.57 ^{aB}
12	1.66±0.57 ^{aC}	2.00±0.00 ^{aD}

Değerler ortalama±standart sapma şeklinde verilmiştir. K: Kontrol grubu (kaplanmayan grup). NK: Nisin-kurkumin yüklü nanoliflerle kaplanan grup. ^{a-b} Aynı muhafaza gününde farklı gruplar arasındaki farkı ifade etmektedir ($p<0.05$). ^{A-D} Farklı muhafaza günlerinde, aynı grup arasındaki farkı ifade etmektedir ($p<0.05$).

Muhafaza günlerinin ilerlemesiyle birlikte K ve NK grubu örneklerinin duyusal analiz renk skorunda istatistiksel olarak önemli düşüşler meydana gelmiş ($p<0.05$) ve K grubu örneklerde meydana gelen düşüş, NK grubuna kıyasla daha hızlı olmuştur. K grubu örneklerinin duyusal analiz renk skoru, muhafazanın 4. gününde 3.66 puana ulaşmış, aynı gün nisin ve kurkumin yüklü nanoliflerle kaplanan grubunun duyusal analiz renk skoru daha yüksek ve ham materyalin sahip olduğu kaliteye yakın (8.66 puan) bulunmuştur. Renk skoru, kontrol grubu örnekler için muhafazanın 4. gününde tüketilemez hale gelirken, bu skor, NK grubu örnekler için 12. günde tüketilemez olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4.8. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde duyusal analiz renk skorunda meydana gelen değişimler.

Balık örnekleri için, duyusal kaliteyi tanımlayan koku ve renk parametrelerinin yanı sıra doku parametresi de önemli bir kalite göstergesi olarak duyusal analiz sonuçlarında önem arz etmektedir. Doku skoru panelistler tarafından belirlenmiş ve Çizelge 4.6.'dan da takip edilebileceği gibi, gökkuşağı alabalığının doku skoru panelistler tarafından 9.00 tam puan almıştır.

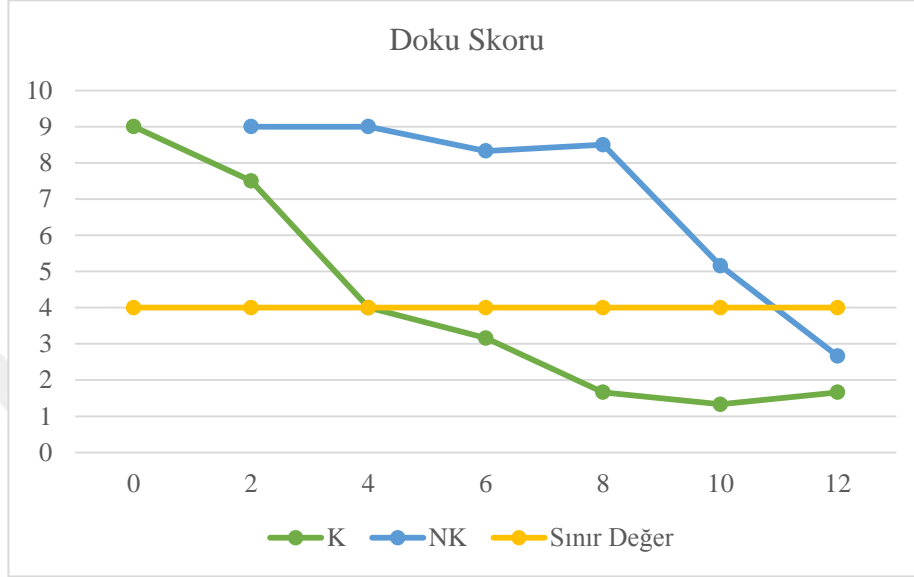
Çizelge 4.6. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde duyusal analiz doku skorunda meydana gelen istatistiksel değişimler

Gün	K	NK
0	9.00±0.00	-
2	7.50±0.00 ^{bA}	9.00±0.00 ^{aA}
4	4.00±0.50 ^{bB}	9.00±0.00 ^{aA}
6	3.16±0.76 ^{bBC}	8.33±0.28 ^{aA}
8	1.66±0.57 ^{bCD}	8.50±0.00 ^{aA}
10	1.33±0.57 ^{bD}	5.16±0.28 ^{aB}
12	1.66±0.57 ^{aCD}	2.66±0.57 ^{aC}

Değerler ortalama±standart sapma şeklinde verilmiştir. K: Kontrol grubu (kaplanmayan grup). NK: Nisin-kurkumin yüklü nanoliflerle kaplanan grup. ^{a-b} Aynı muhafaza gününde farklı gruplar arasındaki farkı ifade etmektedir ($p<0.05$). ^{A-D} Farklı muhafaza günlerinde, aynı grup arasındaki farkı ifade etmektedir ($p<0.05$).

Muhafaza günlerinin ilerlemesiyle birlikte kaplanmamış grubun doku skorunda düşmeler meydana gelmiş ve doku skoru, 2. muhafaza gününde 7.50; 4. muhafaza gününde ise 3.16 olarak kaydedilmiştir. Bu muhafaza günlerinde (2. ve 4. gün) NK

grubu doku skoru 9.00 tam puan almaya devam etmiştir. K grubu örnekler; muhafazanın 4. gününde, NK grubu örnekler ise muhafazanın 12. gününde tüketilemez forma dönüşmüştür (≤ 4).



Şekil 4.9. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^\circ\text{C}$) günlerinde duyu analizi doku skorunda meydana gelen değişimler.

Koku, renk ve doku parametrelerinden oluşan duyu analiz değerlendirilmesinin en önemlisi bu üç parametrenin bir arada değerlendirilip verildiği duyu analiz genel değerlendirme sonucudur. Bu değere ait sonuçlar, Çizelge 4.7.' de sunulmuştur.

Çizelge 4.7. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^\circ\text{C}$) günlerinde duyu analiz genel değerlendirme skorunda meydana gelen istatistiksel değişimler

Gün	K	NK
0	9.00±0.00	-
2	7.17±0.00 ^{bA}	9.00±0.00 ^{aA}
4	3.77±0.25 ^{bB}	8.89±0.19 ^{aA}
6	2.89±0.19 ^{bB}	8.50±0.00 ^{aB}
8	1.66±0.33 ^{bC}	8.17±0.00 ^{aC}
10	1.66±0.33 ^{bC}	5.22±0.25 ^{aD}
12	1.66±0.57 ^{aC}	2.22±0.50 ^{aE}

Değerler ortalama±standart sapma şeklinde verilmiştir. K: Kontrol grubu (kaplanmayan grup). NK: Nisin-kurkumin yüklü nanoliflerle kaplanan grup. ^{a-b} Aynı muhafaza gününde farklı gruplar arasındaki farkı ifade etmektedir ($p<0.05$). ^{A-E} Farklı muhafaza günlerinde, aynı grup arasındaki farkı ifade etmektedir ($p<0.05$).

Duyusal analiz panelinde alabalığın genel değerlendirme skoru 9.00 puan olarak belirlenmiştir. Muhafazanın 2. gününde K grubu gökkuşağı alabalık filetosunun duyuşsal analiz panelinde genel değerlendirme sonucu 7.17 puan olarak elde edilirken, NK yüklü nanoliflerle kaplanan gökkuşağı alabalık filetosunun duyuşsal analiz genel değerlendirme sonucu ham materyalin sahip olduğu kalite ile aynı (9.00 puan) bulunmuştur.

Bu çalışmada K grubu örneklerinin duyuşsal analiz genel değerlendirme sonucu, muhafazanın 4. gününde 3.77 puana ulaşmış, aynı gün nisin-kurkumin yüklü nanoliflerle kaplanan grubunun duyuşsal analiz genel değerlendirme sonucu daha yüksek ve ham materyalin sahip olduğu kaliteye yakın (8.89 puan) bulunmuştur. Kontrol grubu örnekler, muhafazanın 4. gününde duyuşsal analiz genel değerlendirme parametresinde insan tüketimine uygun olmayan bir hale gelirken, 4. muhafaza gününde NK grubu örnekler, tüketilebilir özelliklerini korumuştur.

Duyusal analiz genel değerlendirme parametresi, muhafazanın 10. gününde K grubu için 1.66 puana, NK grubu için 5.22 puana düşmüştür. Muhafazanın 12. gününde ise K grubu örneğın duyuşsal analiz genel değerlendirme puanı 1.66 olarak belirlenmiş ve nisin-kurkumin yüklü nanoliflerle kaplanan NK grubunun duyuşsal analiz genel değerlendirme sonucu, sınır değeri olarak kabul edilen ≤ 4 puan değeriine ulaşmıştır (2.22 puan).

Nykänen ve ark. (1999), soğuk dumanlanmış gökkuşağı alabalık filetoalarını laktik asit ve nisin-laktik asit kombinasyonu ile muamele ederek, 29 günlük muhafaza süresi boyunca filetoaların duyuşsal özelliklerini belirlemişlerdir. Nisin-laktik asit kombinasyonu ile muamele edilen örneklerde, dumanlanmış ürüne has, hoşı giden yoğın tütsü kokusunun korunduğu belirlenmiştir. Kontrol ve sadece laktik asit uygulaması yapılan örneklerde hidrojen sülfür, ekşi, bozulmuş kokular tespit edilmiştir. Sonuç olarak nisinın balık filetosundaki mikrobiyal yükü azaltarak raf ömrünü arttırdığı ve aynı zamanda duyuşsal kaliteyi de muhafaza ettiğı belirtilmiştir.

Economou ve ark. (2009) tarafından nisin ve EDTA muamelesinin taze tavuk etinin raf ömrü üzerini belirlemek için bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada tavut eti örnekleri modifiye atmosfer (MAP) kullanılarak paketlenmiş ve 4°C'de depolanmıştır. Muhafaza sırasında etlerin duyuşsal özellikleri incelenmiştir. 12 günlük muhafazadan sonra nisin-EDTA ile muamele edilen grupların, kontrol grubundan ve muamele

edilmemiş ve MAP ile muhafaza edilmiş örnekten daha yüksek duyuşsal puanlar aldığı belirlenmiştir.

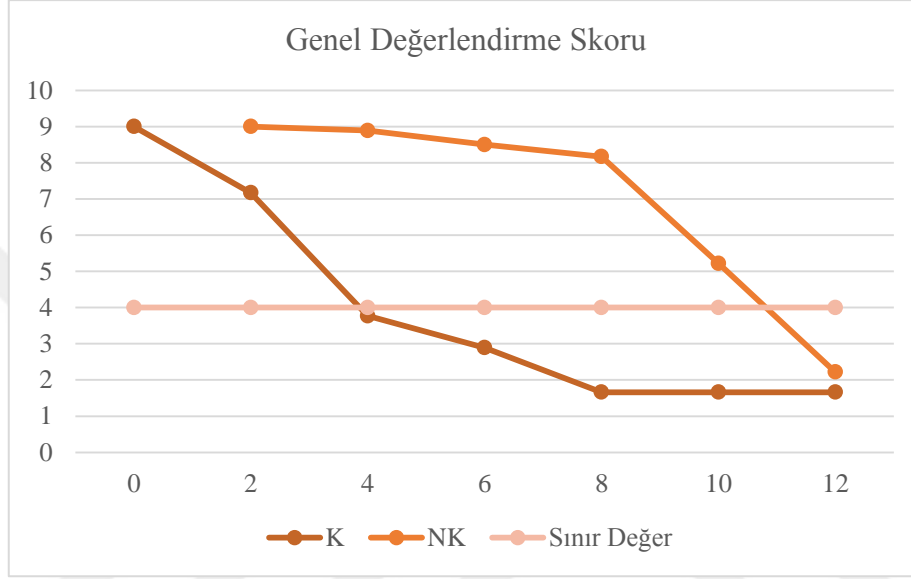
Fernandes ve ark. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, dondurulmuş izgili *Prochilodus lineatus* filetoları üzerine kurkuminin etkisinin araştırılması amaçlanmış ve filetoların duyuşsal özellikleri incelenmiştir. Kontrol ve muamele edilen gruplar arasında, koku skorunda istatistiksel olarak önemli bir fark tespit edilememiştir. Renk skorunda ise kontrol grubunun; “hafifce sevilmeyen”, muamele edilen grupların ise “hafif sevilen” ve “ne sevilen ne sevilmeyen” şekilde tanımlar aldıkları belirlenmiştir. Bunun nedeninin kurkumin ile muameleye tabi tutulan filetoların renklerinin, doğal renkten biraz sarı renge dönüşmesi olduğu bildirilmiştir.

Shahinfar ve Saeid (2017), serbest ve mikrokapsüllenmiş esansiyel yağın ve nisinin $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de 20 gün süreyle depolanan balık burgerlerinin duyuşsal özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Hem mikrokapsilleme işleminin hem de esansiyel yağ ile nisin kombinasyonunun, işlenmiş numunelerin duyuşsal skorlarını iyileştirmiş olduğu çalışma sonunda belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca, balık burgerlerinin duyuşsal kalitesinin, nisin ile muamele edilmiş numunelerde, kontrol grubuna göre % 32 oranında arttığı belirtilmiştir.

Wu ve ark. (2017), kitosan-nisin mikrokapsülleri hazırlayarak, *Pseudosciaena polyactis*'in muhafaza sırasındaki duyuşsal özelliklerini incelemişlerdir. Kontrol rneğinde, kitosan-nisin makromolekülleri ile muamele edilen örneklerin duyuşsal kalitesinde daha hızlı bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Kontrol grubu 12. günde “kabul edilemez” duyuşsal analiz skoruna ulaşmıştır. Kitosan-nisin kombinasyonları ile muamele edilen örneklerin duyuşsal kalitesinin ise 18. güne kadar korunduğu saptanmıştır.

Yapılan bu çalışmanın sonuçları, K grubu örneklerin tüm duyuşsal parametrelerinin muhafaza süresinin 4. gününde kabul edilemez olduğunu; NK grubu örneklerin koku, renk, doku ve genel değerlendirme özelliklerinin ise muhafazanın 12. gününde kabul edilemez olduğunu göstermiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda nisinin duyuşsal kalite özelliklerini koruduğu ortaya konmuştur. Bu çalışmada, nisin ve kurkumin yüklü nanolifler kullanılarak NK grubunun duyuşsal kalite özellikleri geliştirilmiş ve mikrobiyal bozulması geciktirilmiştir. NK grubu örneklerin, tüm duyuşsal analiz kalite parametreleri kontrol örneğine kıyasla 3 kat arttırılmıştır. Duyuşsal

analiz skorlarında nisin-kurkumin yüklü nanoliflerle sağlanan gelişme muhtemelen antimikrobiyal özelliğe sahip olan nisin ve kurkuminin, mikroorganizma sayısını özellikle de bozulma indeksi olarak tanımlanan LAB yükünü sınırlandırmasından kaynaklanmıştır. Bu anlamda bu çalışmanın sonuçları, nisin ve kurkumin yüklü nanoliflerin duyu kaliteyi iyileştirebileceğini de ortaya koymuştur.



Şekil 4.10. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde duyu analiz genel değerlendirme skorunda meydana gelen değişimler.

4.3.5. Renk analizi bulguları

Renk, balık kalitesini belirlemek için kullanılan parametrelerden birisidir. Balıktaki renk değişimi bozulma göstergelerinden birisi olduğundan dolayı renk değeri, tüketicilerin balığı satın alma kararını etkileyen önemli bir faktördür (Lakshmanan, 2000).

Çizelge 4.8., soğukta muhafaza günleri boyunca K ve NK örneklerinin renk değerlerinde meydana gelen değişimleri göstermektedir. Nanolif uygulamasından önce, ham materyal için başlangıç L^* değeri; 48.23, a^* değeri; -1.56 ve b^* değeri ise 6.52 olarak bulunmuştur. Bu değerler; gökkuşuğu alabalığının başlangıçtaki L^* , a^* ve b^* indekslerini sırasıyla 46.3, -1 ve 7.24 olarak belirleyen Lefevre ve ark. (2016)'nın bildirdiği değerler ile uyum göstermektedir.

Muhafaza günlerinin ilerlemesiyle birlikte, nanoliflerle muamele edilmemiş kontrol grubu örneklerinin L*, a* ve b* değerlerinde artış meydana geldiği belirlenmiştir. Muhafazanın 2. gününden son muhafaza gününe doğru, K örneklerinin L* değerleri 52.33'ten 68.19'a yükselmiştir. Pozitif olduğunda kırmızılığı temsil eden a* değeri -1.43'dan 8.20'ye ve pozitif olduğunda sarılığını temsil eden b* değeri ise 9.1'den 16.38'e yükselmiştir. Nisin-kurkumin yüklü nanoliflerle muamele edilen NK örneklerinin L* değerleri 4±2°C'de muhafaza sırasında neredeyse sabit kalırken, bu örneklerin a* ve b* değerleri artan muhafaza süresi ile artmıştır. Muhafaza periyodu boyunca, tüm renk indeksleri için (L*, a* ve b*) K ve NK grubu örnekler arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar bulunmuştur (p<0.05).

Çizelge 4.8. Gruplar arasında soğuk muhafaza (4±2°C) günlerinde L*, a*, b* değerlerinde meydana gelen istatistiksel değişimler

Gün	K			NK		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0	48.23±1.00	-1.56±0.0	6.52±0.0	-	-	-
2	52.33±0.29 ^{aE}	1.43±0.03 ^{aF}	9.1±0.11 ^{aD}	49.79±0.63 ^{bA}	0.14±0.02 ^{bC}	5.82±0.27 ^{bC}
4	51.94±0.34 ^{aDE}	-0.81±0.08 ^{bE}	9.42±0.48 ^{aD}	51.32±2.31 ^{aA}	0.43±0.07 ^{aC}	7.63±1.02 ^{bC}
6	54.48±0.24 ^{aD}	1.68±0.13 ^{aD}	10.71±0.68 ^{aC}	50.48±1.02 ^{bA}	1.30±0.10 ^{bB}	13.23±0.41 ^{aA}
8	56.75±1.16 ^{aC}	2.49±0.40 ^{aC}	10.73±0.46 ^{aC}	48.93±1.41 ^{bA}	1.98±0.28 ^{aAB}	10.57±1.18 ^{aB}
10	61.74±1.49 ^{aB}	5.03±0.07 ^{aB}	14.66±0.40 ^{aB}	51.76±0.72 ^{bA}	2.03±0.06 ^{bAB}	11.19±0.60 ^{bB}
12	68.19±0.37 ^{aA}	8.20±0.20 ^{aA}	16.38±0.45 ^{aA}	49.39±0.44 ^{bA}	2.62±0.68 ^{bA}	11.08±0.26 ^{bB}

Değerler ortalama±standart sapma şeklinde verilmiştir. K: Kontrol grubu (kaplanmayan grup). NK: Nisin-kurkumin yüklü nanoliflerle kaplanan grup. ^{a-b} Aynı muhafaza gününde farklı gruplar arasındaki farkı ifade etmektedir (p<0.05). ^{A-E} Farklı muhafaza günlerinde, aynı grup arasındaki farkı ifade etmektedir (p<0.05).

NK örneklerinin L* değerlerinin K grubu örneklerin L* değerlerine göre daha stabil kaldığı belirlenmiş ve bu durum; balık filetoalarının başlangıç L* değerlerinin nisin-kurkumin yüklü nanolifler tarafından korunmasına bağlanmıştır.

Bütün örneklerin a* değeri, muhafaza süresi ile artmıştır. Örneklerin a* değerinde muhafaza boyunca meydana gelen artışın, örneklerin bozulmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Lu ve ark. (2010)'a göre, beyaz et rengine sahip olan balıklar, avlanıp birkaç gün muhafaza edildikten sonra istenmeyen bir tat ve koku kazanırlar ve bozulmanın ilerlemesiyle balık örneklerinde kırmızı renk gelişimi meydana gelir. Çizelge 4.8.'den de görüleceği gibi her iki grubun a* değeri muhafaza

boyunca artış göstermiştir ancak muhafaza süresi sonunda, NK örneğinin a* değerinin, K örneğinin a* değerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Nisin-kurkumin yüklü nanolifler muhtemelen bozulma etmeni olan mikroorganizmaları inhibe ederek, kırmızılığını ifade eden a* değerindeki artışı sınırlandırmışlardır.

b* değerinde oluşan artış; lipit oksidasyonu ve karbonil-amin reaksiyonları nedeniyle meydana gelen sararmaya işaret etmektedir (Lakshmanan, 2000). NK örneklerinin b* değerleri, artan muhafaza süresi ile artmış olmasına rağmen, soğuk muhafaza süresince bu değerler, K örneklerinin b* değerlerinden daha düşük bulunmuştur. Balıklarda mikrobiyal faaliyetler sonucu, serbest amino asitler, proteinler ve lipitler gibi çok sayıda bileşen oluşmakta (Lakshmanan, 2000) ve balık oksidasyona karşı daha savunmasız hale gelmektedir. Gıdaları oksidasyona karşı korumak için yenilebilir kaplama malzemeleri kullanılmaktadır (Lu ve ark., 2010).

Lu ve ark. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada, 4°C'de 15 gün muhafaza edilen ve kalsiyum aljinat, nisin, tarçın kombinasyonları kullanılarak kaplanan balık filetolarının renk parametreleri, muhafaza süresi boyunca incelenmiştir. Tüm numuneler için L* değerinde azalma belirlenmiştir.

Uçar (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, farklı konsantrasyonlarda kullanılan nisinin, vakum paketlenip soğukta muhafaza edilen levrek filetolarının renk parametreleri üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışma sonunda, yüksek konsantrasyonda kullanılan nisinin sarı renk değerinde artışa neden olduğu ifade edilmiştir. Muhafaza süresi boyunca L* değerinde azalış artışlar belirlenmiş ve muhafazanın son günlerinde tüm grupların L* değerinde artma olduğu tespit edilmiştir.

Sun ve ark. (2019), balık jelatini ile kurkumin/ β -siklodekstrin emülsiyonlarını birleştirerek oluşturdukları yenilebilir kaplamayla, sazaları kaplamışlardır. Çalışma sonucunda L* değerinin tüm gruplarda düştüğü belirlenmiş ancak kontrol grubunda daha fazla bir düşme olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca bütün örneklerin a* değerinde artış belirlenmiş fakat bu artış kontrol grubunda daha yüksek olmuştur. b* değerinin ise kurkumin bulunan gruplarda, daha fazla arttığı ifade edilmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen bulgular; nisin-kurkumin yüklü nanoliflerin, balık filetolarının renklerinin daha stabil kalmasına katkıda bulunduğunu göstermiştir. Nisin-kurkumin yüklü nanoliflerin bu etkisi; bozulma etmeni mikroorganizmaların nanolifler tarafından inhibe edilmesinden kaynaklanmıştır.

4.3.6. Sertlik analizi bulguları

Tazelik, tüketicilerin algılarını etkileyen en önemli özelliklerden biridir ve görünüm, doku ve tat ile doğrudan bağlantılıdır. Cheng ve ark. (2014)'e göre sertlik, balık tazeliğini belirlemek için önemli bir kalite parametresidir. Sertlik ölçümü ile, balığın tazeliği doğrudan değerlendirilebilmektedir. Ayrıca deniz ürünlerinde görülen en önemli doku kusuru, kasın yumuşaması ve “gaping” olarak adlandırılan balık etinin yarılması durumudur.

K ve NK gruplarına ait gökkuşağı alabalık filetolarının soğuk muhafaza günleri boyunca sertlik değerinde meydana gelen değişimler Şekil 4.11. ve Çizelge 4.9.'de verilmiştir.

Çizelge 4.9. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde sertlik değerinde meydana gelen istatistiksel değişimler (N)

Gün	K	NK
0	34.85 \pm 0.16	-
2	28.97 \pm 0.92 ^{bAB}	35.51 \pm 1.30 ^{aA}
4	26.26 \pm 0.46 ^{bB}	33.42 \pm 1.87 ^{aAB}
6	16.52 \pm 0.43 ^{bC}	29.59 \pm 2.53 ^{aABC}
8	13.31 \pm 0.50 ^{bD}	25.81 \pm 2.81 ^{aBCD}
10	12.16 \pm 0.24 ^{bD}	23.84 \pm 1.11 ^{aCD}
12	5.63 \pm 1.42 ^{bE}	20.51 \pm 2.81 ^{aD}

Değerler ortalama \pm standart sapma şeklinde verilmiştir. K: Kontrol grubu (kaplanmayan grup). NK: Nisin-kurkumin yüklü nanoliflerle kaplanan grup. ^{a-b} Aynı muhafaza gününde farklı gruplar arasındaki farkı ifade etmektedir ($p<0.05$). ^{A-E} Farklı muhafaza günlerinde, aynı grup arasındaki farkı ifade etmektedir ($p<0.05$).

Ham materyalin sertlik için başlangıç değeri 34.85 N olarak bulunmuştur. Muhafazanın 2. gününde K grubu örneklerinin sertlik 28.97 N olarak elde edilirken, NK yüklü nanoliflerle kaplanan gökkuşağı alabalık filetosunun sertlik değeri ham materyalin sahip olduğu kaliteye yakın (35.51 N) bulunmuştur. Muhafaza süresi boyunca gruplar arasındaki fark, istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$).

Muhafaza günlerinin ilerlemesiyle K ve NK grubu örneklerinin sertlik değerinde istatistiksel olarak önemli düşüşler meydana gelmiştir ($p<0.05$) ve K grubu örneklerde meydana gelen düşüş, NK grubuna kıyasla daha hızlı olmuştur.

Bu çalışmada K grubu örneklerinde sertlik değeri, örneklerin tüketilemez hale geldiği 4. muhafaza gününde 26.26 N'a düşmüş, aynı gün NK grubu örneklerinin sertlik

değeri 33.42 N olarak bulunmuştur. Doku yumuşaması, tüm örneklerde muhafaza süresiyle artmıştır. K grubu örneklerinin sertlik değeri 4. güne kadar kademeli olarak azalmış ve 4. günün ardından sertlik değerinde hızlı bir azalma tespit edilmiştir.

Muhafazanın 6. gününde K grubunda sertlik değeri 16.52 N; NK grubunda 29.59 N olarak bulunmuştur. Bu değer, muhafazanın 8. gününde K grubu için 13.31 N; NK grubu için 25.81 N olarak tespit edilmiştir.

Sertlik değeri, muhafazanın 10. gününde K grubu için 12.16 N; NK grubu için 23.84 N olarak bulunmuştur. Muhafazanın 12. gününde sertlik değeri K grubu örneklerinde 5.63 N olarak, NK grubu örneklerde ise 20.51 N olarak belirlenmiştir. Muhafaza periyodunun son gününde K ve NK grubu örnekleri arasındaki sertlik değeri farkının, % 70'den büyük olduğu tespit edilmiştir.

López-Caballero ve ark. (2005) tarafından yapılan bir çalışmada, toz haline getirilmiş kitosan ve bir jelatin çözeltisinin karışımından yapılan kaplama metaryalinin balık köftesi reolojik ölçümleri üzerine etkisi incelenmiştir. Sertlik değeri, toz kitosan eklenerek kaplanan balık köftelerinin kontrol grubuna yakın olduğu belirtilmiştir. Sertlik değerinin, işlenmiş gruplarda kontrol grubuna göre daha yüksek sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Aldemir (2013) yaptığı bir çalışmada, alabalık filetolarının kaplanmasında salça üretim atıklarını kullanarak, vakum paketlenme işlemi uygulanmış ve örneklerde TPA analizi yaparak reolojik özellikleri incelemiştir. Biber çekirdeği ve domates çekirdeği ile kaplanmış filetoların sertlik değerinin kontrol grubuna göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

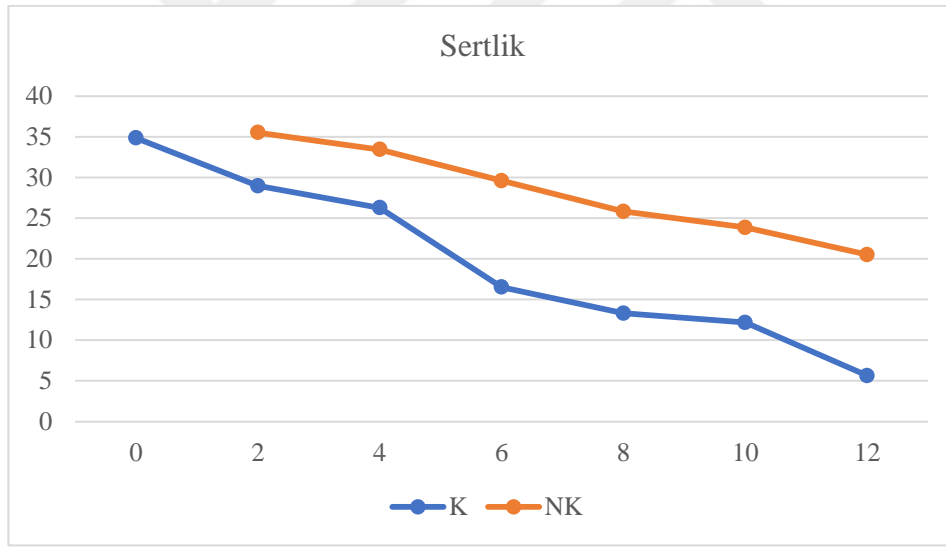
Shaviklo ve Fahim (2014) tarafından yapılan bir çalışmada, ekmek kırıntısı, soya proteini ve pektinden oluşan üç farklı karışım kullanılarak, balık kroketlerinin polietilen torbalarda paketlenerek reolojik özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. 18°C'de 6 aylık muhafaza sonrasında, kaplanan grupların kontrol grubuna göre sertlik değerinin arttığı tespit edilmiştir.

Şen ve ark. (2017) yaptıkları bir çalışmada, dondurulmuş mezigit ve dondurulmuş sardalya balıklarını kullanarak surimi ve surimi jelleri üretimi gerçekleştirmişlerdir. -18°C'de ve 60 günlük muhafaza sonrasında doku kalite parametrelerini incelemiştir. Muhafazanın son gününde tüm örneklerde sertlik değerlerinde artışlar belirlenmiştir.

Berizi ve ark. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, kitosan ve nar kabuğu ekstraktı kombinasyonları ile kaplanan gökkuşuğu alabalıkları dondurularak muhafaza edilmiştir. 6 ay muhafaza sonrasında gökkuşuğu alabalıklarının dokusal özellikleri incelenmiştir. Kaplanan grupta sertlik değerinin, kontrol grubuna göre daha yüksek olduğu bulunmuştur. Muhafaza boyunca sertlik değerinde tüm gruplar için anlamlı bir azalma belirlenmiştir ($p<0.05$).

Balık kasının proteolitik bozulması, ölüm sonrası laktik asit birikimi ve balık kasında pH'nın azalması nedeniyle kolaylaşabilmektedir (Delbarre-Ladret ve ark., 2006). Ayrıca, mikrobiyal aktivite, kasın yumuşamasına katkıda bulunmaktadır. Bozulan balık kası proteolitik enzimlere karşı daha savunmasız hale gelmektedir. Deniz ürünlerinin, diğer etlere göre daha hassas olduğu bilinmektedir (Yağız ve ark., 2007).

Yapılan çalışmada, NK grubu örneklerindeki tazelik kaybının, K grubu örneklerinden daha az olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.11. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde sertlik (N) değerinde meydana gelen değişimler.

4.3.7. Tiyobarbitürik asit sayısı (TBA) bulguları

Lipid oksidasyonu, gıda maddesinin bozulmasına sebep olan en önemli değişimlerinden biridir. Okside olan gıdada, sarı-kahverengi bir renk ve acımsı bir tat meydana gelmektedir. Lipid oksidasyonunu ifade eden kriterlerden biri TBA sayısıdır.

Su ürünlerinde türün, yağ miktarının, mevsim faktörlerinin ve muhafaza sırasındaki koşulların TBA sayısını etkilediği bilinmektedir. TBA analizi, genellikle ikincil lipid oksidasyonunun değerlendirilmesinde ve oksidasyon derecesinin belirlenmesinde kullanılan bir göstergedir (Ruiz-Capillas ve Moral, 2001; Langroudi ve ark., 2011).

Kontrol (K) ve nisin-kurkumin yüklü nanoliflerle kaplı (NK) balık örneklerinin TBA değerinde meydana gelen değişimler Şekil 4.12. ve Çizelge 4.10.'de verilmiştir.

Çizelge 4.10. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde tiyobarbitürik asit sayısında (TBA) meydana gelen istatistiksel değişimler (mg MDA/kg)

Gün	K	NK
0	0.30±0.00	-
2	0.26±0.00 ^{aD}	0.24±0.00 ^{bD}
4	0.80±0.00 ^{aB}	0.68±0.11 ^{aBC}
6	0.94±0.02 ^{aA}	0.88±0.00 ^{aAB}
8	0.97±0.08 ^{aA}	0.85±0.06 ^{aAB}
10	0.79±0.06 ^{aB}	0.65±0.03 ^{aBC}
12	0.59±0.07 ^{aC}	0.50±0.01 ^{aC}

Değerler ortalama±standart sapma şeklinde verilmiştir. K: Kontrol grubu (kaplanmayan grup). NK: Nisin-kurkumin yüklü nanoliflerle kaplanan grup. ^{a-b} Aynı muhafaza gününde farklı gruplar arasındaki farkı ifade etmektedir ($p<0.05$). ^{A-D} Farklı muhafaza günlerinde, aynı grup arasındaki farkı ifade etmektedir ($p<0.05$).

Ham materyalin TBA için başlangıç kalitesi tespit edilmiş ve TBA değeri 0.30 mg MDA/kg olarak bulunmuştur. Ojaah ve ark. (2010), gökkuşuğu alabalığının başlangıç TBA değerini 0.09 mg MDA/kg olarak bulmuşlardır. Tavakoli ve ark. (2018) tarafından yapılan başka bir çalışmada gökkuşuğu alabalık filetoalarının başlangıç TBA değeri 0.08 mg MDA/kg' dan düşük bulunmuştur. Balığın iyi kalitede olduğunu (dondurulmuş, soğutulmuş veya buzla saklanmış) gösteren en yüksek TBA değerinin 5 mg MDA/kg olduğu ve balıkların 8 mg MDA/kg seviyesine kadar tüketilebileceği bildirilmektedir (Schormuller, 1969).

Muhafazanın 2. gününde K grubu örneklerinin TBA sayısı 0.26 mg MDA/kg olarak elde edilirken, NK yüklü nanoliflerle kaplanan gökkuşuğu alabalık filetosunun TBA değeri 0.24 mg MDA/kg olarak bulunmuş ve iki grup arasında istatistiksel olarak önemli fark bulunmuştur ($p<0.05$).

Muhafaza günlerinde hem K hem de NK grubu örneklerin TBA değerlerinde istatistiksel olarak önemli artışlar ve düşüşler meydana gelmesine rağmen ($p<0.05$), gruplar arasında (K ve NK) önemli bir fark bulunamamıştır ($p>0.05$).

K grubu örneklerinin tüketilemez olarak kabul edildiği muhafazanın 4. gününde TBA sayısı 0.80 mg MDA/kg bulunmuş, aynı gün nisin-kurkumin yüklü nanoliflerle kaplanan grubun TBA sayısı 0.68 mg MDA/kg olarak bulunmuştur.

Muhafazanın 6. gününde K grubu örneklerinde TBA sayısı; 0.94 mg MDA/kg; NK grubu örneklerinde 0.88 mg MDA/kg olarak bulunmuştur. Bu değer, muhafazanın 8. gününde K grubu için 0.97 mg MDA/kg olarak bulunmuştur ve tüm muhafaza periyodu boyunca, K grubunun TBA sayısının en yüksek değere ulaştığı gün, 8. Gün olarak tespit edilmiştir. TBA değeri 8. muhafaza gününde NK grubu örnekleri için 0.85 mg MDA/kg olarak belirlenmiştir.

TBA sayısı, muhafazanın 10. gününde K grubu için 0.79 mg MDA/kg; NK grubu için 0.65 mg MDA/kg olarak bulunmuştur. Muhafazanın son günü olan, 12. muhafaza gününde K grubu örneğinin TBA değeri 0.59 mg MDA/kg olarak belirlenmiş ve nisin-kurkumin yüklü nanoliflerle kaplanan örneklerin TBA sayısı 0.50 mg MDA/kg olarak bulunmuştur.

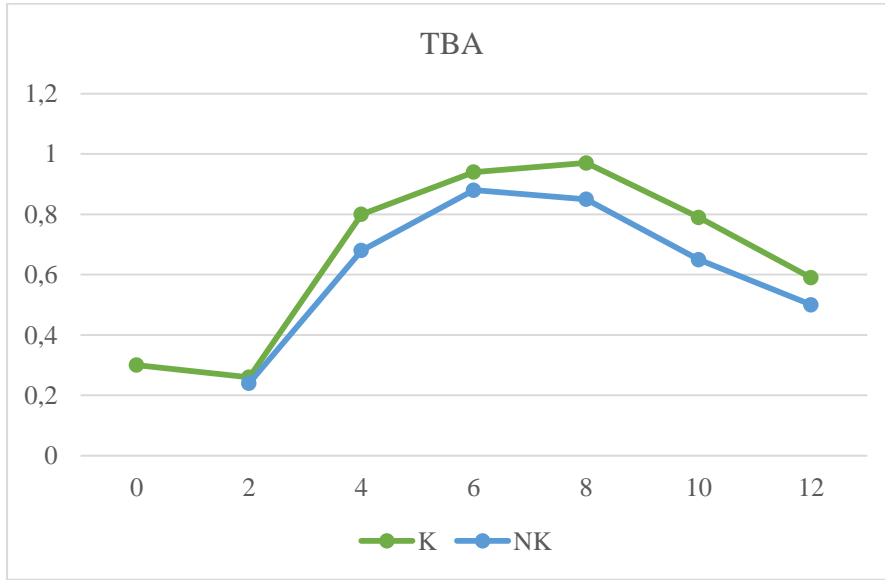
Muhafaza süresi boyunca tüm örneklerde TBA değerlerinin oldukça düşük olduğu ve sınır değer olarak kabul edilen 5 mg MDA/kg değerine ulaşmadığı belirlenmiştir. Gökkuşığı alabalığının yağ miktarının düşük olmasından dolayı, balık örneklerinde düşük derecede oksidasyon oluştuğu düşünülmektedir. Benzer bulgular; Hosseini ve ark. (2016) tarafından da elde edilmiştir. Hoseini ve ark. (2016), kekik esansiyel yağı içeren balık jelatini çözeltileriyle muamele edilen gökkuşığı alabalığının, kimyasal özelliklerini inceleyen bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu araştırmacılar, $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de 16 gün muhafaza edilen balıkların TBA değerinin hem kontrol grubu örneklerde hem de muamele edilen gruplarda sınır değere ulaşmadığını belirlemişlerdir. Benzer şekilde Shadman ve ark. (2017), farklı konsantrasyonlarda *Zataria multiflora* Boiss. esansiyel yağı içeren ayçiçek yağı bazlı nanoemülsiyonların, gökkuşığı alabalığının bazı kalite parametreleri üzerine etkisini belirlemek için gerçekleştirdikleri çalışmada, alabalık filetolarını $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de 15 gün boyunca muhafaza edilmiştir. Muhafaza boyunca TBA değerinin, kontrol grubu örneklerde 0.05 ile 2.67 mg MDA/kg arasında; % 0.5 esansiyel yağ içeren nanoemülsiyon ile muamele edilen grupta ise 0.05-2.45 mg MDA/kg arasında olduğunu saptamışlardır.

Özoğul ve ark. (2017) tarafından gerçekleştirilen ve gökkuşığı alabalığının mikrobiyolojik ve kimyasal özellikleri üzerine, farklı esansiyel yağ içeren

nanoemulsiyonların etkilerini inceleyen çalışmada, muhafaza boyunca TBA değerinin dalgalanmalar gösterdiği ve en yüksek TBA değerinin 2.26 mg MDA/kg olduğu belirlenmiştir.

Farklı oranlarda *Zataria multiflora* Boiss. esansiyel yağı ve üzüm çekirdeği ekstraktı içeren karboksimetil selüloz (CMC) kaplamalarının gökkuşağı alabalığının TBA değerleri üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada (Raeisi ve ark., 2015), 20 günlük soğuk muhafaza süresince TBA değerinin 5 mg MDA/kg' a ulaşmadığını tespit edilmiştir. Kontrol grubu için en yüksek TBA değeri 2.05 mg MDA/kg bulunmuştur. Bu araştırmacılar 10. muhafaza gününde TMAB sayısının 7 log kob/g'ı aştığını belirlemişlerdir. Aynı çalışmanın duyu analizi genel kabul edilebilirlik sonuçlarına göre, muhafazanın 10. gününde kontrol örneği, panelistler tarafından kabul edilemez olarak tanımlanan 4 puan almıştır.

Ojaah ve ark. (2010), gökkuşağı alabalığını tarçın esansiyel yağı içeren kitosan solüsyonu ile kaplayarak, muhafaza boyunca TBA değişimini inceledikleri bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu araştırmacılar, başlangıçtaki TBA değerlerini kaplanmış grupta 0.08 mg MDA/kg, kaplanmamış alabalık örneğinde ise 0.09 mg MDA/kg olarak bulmuşlardır.



Şekil 4.12. Gruplar arasında soğuk muhafaza ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) günlerinde tiyobarbitürik asit sayısında (TBA) meydana gelen değişimler.

Yapılan bu çalışmada NK grubu örneklerinin TBA değerlerinin muhafazanın tüm günlerinde K grubuna göre daha düşük olduğu bulunmasına rağmen, gruplar arasında (K ve NK) TBA değerleri bakımından istatistiksel olarak önemli bir fark bulunamamıştır ($p>0.05$). Gökkuşığı alabalığının düşük oranda yağ içermesi nedeniyle muamele edilmemiş K grubu örneklerde de TBA sayısı limit değerlere ulaşmamıştır. Yukarıda verilen ve gökkuşığı alabalığı ile ilgili yapılan çalışmalarda da bizim bulgularımıza benzer bulgular elde edilmiştir. Moini ve ark. (2009), 1-2 mg MDA/kg TBA değerinin “normal koku veya lezzet” için genellikle limit olarak kabul edildiğini bildirmiştir. Diğer bir deyişle, 1-2 mg MDA/kg TBA sayısına sahip örnekler “normal koku veya aromaya” sahip olarak değerlendirilmektedir. TBA sonuçlarına bakıldığında, balık örneklerinin hiçbirinde bu değere ulaşılmadığı görülmektedir. Ancak TMAB ve duyuşsal analiz sonuçları incelendiğinde, K grubu örneklerin TMAB yükünün ve genel kabul edilebilirlik skorunun 4. depoloma gününde tüketilemez olarak kabul edilen değere ulaştığı görülmektedir. Bu anlamda balığın kalitesini değerlendirirken, TBA sayısının tek başına bir kalite göstergesi olamayacağı da bu çalışma ile bir kez daha doğrulanmıştır.

5. SONUÇ

Bu çalışmada elektrodöndürme yöntemi ile PVA tabanlı nisin-kurkumin yüklü nanolifler başarılı bir şekilde üretilmiş ve elde edilen nanoliflerin karakterizasyonu yapıldıktan sonra alabalık filetoları bu nanoliflerle kaplanmıştır. Kaplanan balıkların $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de muhafaza edilmesi sırasında filetoların mikrobiyal kalitesi ve bazı kalite parametrelerinde meydana gelen değişimler belirlenmiştir.

Boncuksuz, sürekli ve düzgün şekilli nisin-kurkumin yüklü nanolif üretimi için elektrodöndürme parametreleri; 20 kV voltaj değeri, 6 μA akım, 8 cm toplayıcı plaka ve şırınga ucu mesafesi ve 1.2 mL/saat çözelti akış hızı olarak belirlenmiştir.

Üretilen nanoliflerin karakterizasyonu yapılmış ve 70.5-233 nm aralığında, ortalama 172 nm çapa ve 2.47 mV ZP değerine sahip, düzgün yapılı ve boncuk içermeyen nanoliflerin başarılı bir şekilde üretildiği belirlenmiştir.

Üretilen nanoliflerin DSC cihazı kullanılarak termal karakterizasyonu yapılmış ve sıcaklığın artması ile nanoliflerin keskin bir bozulmaya uğramadıkları belirlenmiştir. Nanoliflerin ATR-FTIR spektrumu, nisinin nanoliflere başarılı bir şekilde yüklendiğini göstermiştir.

K ve NK grubu örneklerin TMAB sayısında, muhafaza boyunca önemli farklılıklar bulunmuştur. K grubu örneklerinin TMAB değeri sınır değere muhafazanın 4. gününde ulaşırken, nisin ve kurkumin yüklü nanolifler ile kaplanan NK grubu örneklerinin TMAB yükü sınır değere muhafazanın 12. gününde ulaşmıştır. NK grubu örneklerin raf ömrü, K grubu örneklerine göre 3 kat uzatılmış ve muhafazanın son gününde örneklerin TMAB sayısı arasında 2 log fark bulunmuştur. Benzer eğilim, örneklerin TLAB yükünde de görülmüştür. Çalışmada, muhafazanın son gününde nanolif uygulaması ile TLAB sayısının 3-4 logaritmik bir fark belirlenmiştir.

TMK sayısı, NK grubu örneklerde kurkuminin antifungal etkisi nedeniyle önemli oranda düşüş göstermiştir.

Nisin-kurkumin yüklü nanolifler, balık örneklerinin duyu kalitesini geliştirmiştir. K grubu örnekler, tüketilemez olarak kabul edilen 4 puanı, muhafazanın 4. gününde alırken, bu muhafaza gününde NK grubu örnekler, tüm duyu analiz parametreleri açısından en yüksek skorları (8 ve 9) almıştır.

Balığın tazeliğinin bir göstergesi olan sertlik değeri, tüm örneklerde muhafaza günlerinin ilerlemesiyle düşmüştür. Ancak bu düşüş K grubu örneklerde daha hızlı olmuş ve muhafazanın 12. gününde NK grubunun sertlik değeri, K grubunun sertlik değerinden çok daha yüksek bulunmuştur. (\geq % 70). Hem K grubu hem de NK grubu örneklerde TBA değerinin, alabalığın düşük yağ içermesi nedeniyle sınır değere ulaşmadığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmanın sonuçları; optimum elektrodöndürme koşullarının sağlanması ile PVA tabanlı nisin-kurkumin yüklü nanoliflerin, başarılı bir şekilde üretildiğini ve nisin ile kurkuminin PVA tabanlı nanoliflere yüklendiğini ortaya koymuştur. Yaklaşık 15-20 mg nanolif ile 40 ± 5 g alabalık filetolarında antimikrobiyal ve antifungal etki sağlanmıştır. Nisin-kurkumin yüklü nanoliflerin ürünün kabul edilebilirliğini arttırdığı ve ürün tazeliğini daha uzun süre muhafaza ettiği çalışma sonucunda tespit edilmiştir. Elektrodöndürme yönteminin kullanılması ile daha geniş yüzey alanına sahip nanolifler elde edilmiş ve çok az materyal ile balığın daha uzun süre muhafaza edilebileceği bu çalışmayla ortaya konmuştur. Çalışma sonunda elde edilen verilerin bundan sonra yapılacak olan çalışmalara yol göstereceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abee, T., 1995. Pore-forming bacteriocins of Gram-positive bacteria and self-protection mechanisms of producer organisms. *FEMS Microbiology Letters*, **195**: 1-10.
- Abdollahzadeh, E., Rezaei, M., Hosseini, H., 2014. Antibacterial activity of plant essential oils and extracts: the role of thyme essential oil, nisin, and their combination to control *Listeria monocytogenes* inoculated in minced fish meat. *Food Control*, **35**: 177-193.
- Abdou, E. S Galhoum, G. F., Mohamed, E. N., 2018. Curcumin loaded nanomulsions/pectin coatings for refrigerated chicken fillets. *Food Hydrocolloids*, **83**: 445-453.
- Akkaya, N. E., 2014. *Kurkuminin Sudaki Çözünürlüğünün Arttırılması Ultrases Ortamında Aljinat-Kurkumin Kompleksleri Hazırlanması ve Kürecik Eldesi*, (yüksek lisans tezi, basılmamış). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akkoç, N., Şanlıbaba, P., Akçelik, M., 2019. Bakteriyosinler: Alternatif gıda koruyucuları. *Erciyes Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **25** (1-2): 59-70.
- Akman, P. K., Bozkurt, F., Balubaid, M., Yılmaz, M. T., 2019. Fabrication of curcumin-loaded gliadin electrospun nanofibrous structures and bioactive properties. *Fibers and Polymers*, **20**: 1187-1199.
- Alanyalı, F. S., 2009. *Gıda Muhafaza, Gıdaların Kimyasal Koruyuculuklarla Muhafazası*. Açıköğretim Fak., Yay. 1028: 44-63.
- Aldana A. A., Abraham, G. A., 2017. Current advances in electrospun gelatin-based scaffolds for tissue engineering applications. *International Journal of Pharmaceutics*, **523**: 441-453.
- Aldemir, Ö., 2013. *Balık Filetolarının Kaplanmasında Salça Üretim Atıklarının Kullanımı*, (yüksek lisans tezi, basılmamış). PÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Altan, A., Aytaç, Z., Uyar, T., 2018. Carvacrol loaded electrospun fibrous films from zein and poly (lactic acid) for active food packaging. *Food Hydrocolloids*, **81**: 48-59.
- Altuğ, T., 2009. *Gıda Katkı Maddeleri*. Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir. 268.
- Amiali, M. N., Lacroix, C., Simard, R. E., 1998. High nisin Z production by *Lactococcus lactis* UL719 in whey permeate with aeration. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, **14**: 887-894.
- Anal, A. K., Singh, H., 2007. Recent advances in microencapsulation of probiotics for industrial applications and targeted delivery. *Trends Food Science and Technology*, **18** (5): 240-251.
- Anonim, 2005. *Merck Gıda Mikrobiyoloji Uygulamaları*. (Editör: A.K. Halkman,). Ankara. 358.
- Anu-Bhuhani, A., Anandharamakrishnan, C., 2014. Electrospinning and electro-spraying techniques: potential food based applications. *Trends in Food Science & Technology*, **38**(1): 21-33.
- Araujo, CAC, Leon, L. L., 2001. Biological activities of *Curcuma longa* L. *Mem Inst Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro*, **96**(5): 723-728.

- Ariyapitipun, T., Mustapha, A., Clarke, A. D., 2000. Survival of *Listeria monocytogenes* on vacuum-packaged raw beef treated with polylactic acid, lactic acid, and nisin. *Journal of Food Protection*, **63**: 131-136.
- Bansal, S. S., Goel, M., Aqil, F., Vadhanam, M. V., Gupta, R. C., 2011. Advanced drug delivery systems of curcumin for cancer chemoprevention. *Cancer Prevention Research*, **4**(8): 1158-1940.
- Behnam, S., Anvari, M., Rezaei, M., Soltanian, S., Safari, R., 2015. Effect of nisin as a biopreservative agent on quality and shelf life of vacuum packaged rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) stored at 4 °C. *Journal of Food Science and Technol*, **52**(4): 2184-2192.
- Berizi, E., Hosseinzadeh S., Shekarforoush, S. S., Barbieri, G., 2018. Microbial, chemical, textural and sensory properties of coated rainbow trout by chitosan combined with pomegranate peel extract during frozen storage. *International Journal of Biological Macromolecules*, **106**: 1004-1013.
- Bouttefroy, A., Milliere, J.B., 2000. Nisin-curvaticin 13 combinations for avoiding the regrowth of bacteriocin resistant cells of *L. monocytogenes* ATCC 15313. *International Journal of Food Microbiology*, **62**: 65-75.
- Budu-Amoako, E., Ablett, R. F., Haris, J., Delves-Broughton, J., 1999. Combined effect of nisin and moderate heat on destruction of *L. monocytogenes* in cold-pack lobster meat. *Journal of Food Protection*, **62**: 46-50.
- Burgain, J., Gaiani, C., Linder, M., Scher, J., 2011. Encapsulation of Probiotic Living Cells: From Laboratory Scale to Industrial Applications. *Journal of Food Engineering*, **104** (4): 467-483.
- Can, Ö. P., Çoban, Ö. E., 2012. Comparison of the effects of vacuum packaging and coating with zein on the quality criteria of fish fillets. *Journal of Biological Sciences Research*, **5**(1): 87-91.
- Ceylan, Z., 2014. *Nisin ve Işınlama Uygulamalarının Birlikte Kullanılmasının Soğukta Depolanan Balığın Raf Ömrüne Etkisi*, (yüksek lisans tezi, basılmamış). İÜ, Fen Bilimleri Fakültesi, İstanbul.
- Ceylan, Z., Topçu, Y., 2014. Pyrolysis kinetics of hazelnut husk using thermogravimetric analysis. *Bioresource Technology*, **156**: 182-188.
- Ceylan, Z., Mol, S., 2015. Nisin ve su ürünleri. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **32** (2): 115-120.
- Ceylan, Z., Şengör, G. F. Ü., Sağdıç, O., Yılmaz, M. T., 2017a. A novel approach to extend microbiological stability of sea bass (*Dicentrarchus Labrax*) fillets coated with electrospun chitosan based nanofibers, *LWT-Food Science and Technology*, **79**: 367-375.
- Ceylan, Z., 2017b. *Elektrodöndürme Yöntemiyle Üretilen Biyopolimer Tabanlı Nanoliflerle Balık Filetolarının Kaplanması ve Depolama Stabilitésinin Artırılması*, (doktora tezi, basılmamış). İÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ceylan, Z., Ünal Şengör, G. F., Yılmaz, M. T., 2018a. Nanoencapsulation of liquid smoke/thymol combination in chitosan nanofibers to delay microbiological spoilage of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fillets. *Journal of Food Engineering*, **229**: 43-49.
- Ceylan, Z., Meral, R., Karakaş, C. Y., Dertli, E., Yılmaz, M. T., 2018b. A novel strategy for probiotic bacteria: ensuring microbial stability of fish fillets using characterized probiotic bacteria-loaded nanofibers. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, **48**: 212-218.

- Ceylan, Z., Meral, R., Cavidoğlu, İ., Karakaş C. Y., Yılmaz, M. T., 2018c. A new application on fatty acid stability of fish fillets: coating with probiotic bacteria-loaded polymer-based characterized nanofibers. *Journal of Food Safety*, **10.1111/jfs.12547**: 1-9.
- Ceylan, Z., 2018d. Use of characterized chitosan nanoparticles integrated in poly(vinyl alcohol) nanofibers as an alternative nanoscale material for fish balls. *Journal of Food Safety*, **10.1111/jfs.12551**: 1-5.
- Champagne, C. P. Fustier, P., 2007. Microencapsulation for the improved delivery of bioactive compounds into foods. *Current Opinion in Biotechnology*, **18**: 184-190.
- Chen, H., Hoover, D. G., 2003. Bacteriocins and their food applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, **2**: 82-100.
- Cheng, J., H., Sun, D. W., Han, Z., Zeng, X. A., 2014. Texture and structure measurements and analyses for evaluation of fish and fillet freshness quality: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, **13**: 52-61.
- Cheigh, C., Pyun, Y., 2005. Nisin biosynthesis and its properties. *Biotechnology Letters*, **27**: 1641-1648.
- Cho, D., Lee, S., Frey, M. W. (2012). Characterizing zeta potential of functional nanofibers in a microfluidic device. *Journal of Colloid and Interface Science*, **372**: 252-260.
- Chotimarkorn, C., 2011. Quality changes of anchovy (*Stolephorus heterolobus*) under refrigerated storage of different practical industrial methods in thailand. *Journal of Food Science & Technology*, **51**(2): 285-293.
- Coşkun Üstündağ, G., 2009. *Elektrospinnig Yöntemi İle Biyomedikal Kullanıma Yönelik Nanolif Yüzey Üretimi ve Uygulaması*, (yüksek lisans tezi, basılmamış). UÜ, Fen bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Coşkun Üstündağ, G., Karaca, E., 2009. Poli(vinil alkol)/sodyum alginat karışımlarından elektro çekim yöntemi ile elde edilen nanolifli yüzeylerin incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **14** (1): 159-172.
- Çevik, H., 2016. *Polimer-Polimer Hibrit Nanolif Yüzeylere Proteaz Enzimi İmmobilizasyonu*, (yüksek lisans tezi, basılmamış). UÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Çiçek, P. K., 2016. *Elektrodöndürme Tekniği ile Üretilen Kurkumin Yüklü Gliadin Nanoliflerinin Üretimi ve Karakterizasyonu*, (yüksek lisans tezi, basılmamış). YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çolak, H., Hampikyan, H., Bingöl, E. B., Aksu, H., 2008. The effect of nisin and bovine lactoferrin on the microbiological quality of Turkish-style meatball (Tekirdağ Köfte). *Journal of Food Safety*, **28**: 355-375.
- Da Silva Malheiros, P., Daroit, D. J., da Silveira, N. P., Brandelli, A., 2010. Effect of nano vesicle-encapsulated nisin on growth of *Listeria monocytogenes* in milk. *Food Microbiology*, **27**: 175-178.
- Delbarre-Ladrat, C., Cheret, R., Taylor, R., Verrez-Bagnis, V., 2006. Trends in postmortem aging in fish: understanding of proteolysis and disorganization of the myofibrillar structure. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **46**: 409-421.

- Delgado-Vargas, F., Paredes-Lopez, O., 2002. The color phenomenos, 2. *Natural Colorants for Food and Nutraceutical Uses*. CRC Press, Boca Raton, Florida. 19.
- Delves-Broughton, J., 2005. Nisin as a food preservative. *Food Australia*, **5**:12.
- DeMerlis, C. C., Schoneker, D. R., 2003. Review of the oral toxicity of polyvinyl alcohol (PVA). *Food and Chemical Toxicology*, **41**: 319-326.
- Desai, K., ve Park, H. J., 2005. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. *Drying Technology*, **23** (7): 1361–1394.
- Dordevic, V., Balanc, B., Belscak-Cvitanovic, A., Levic, S., Trifkovic, K., Kalusevic, A., Kostic, I., Komes, D., Bugarski, B., Nedovic, V., 2015. Trends in encapsulation technologies for delivery of food bioactive compounds. *Food Engineering Reviews*, **7**: 452-490.
- Donsi, F., Annunziata, M., Sessa, M., Ferrari, G., 2011. Nanoencapsulation of essential oils to enhance their antimicrobial activity in foods. *LWT-Food Science and Technology*, **44**: 1908-1914.
- Donsi, F., Ferrari, G., 2016. Essential oil nanoemulsions as antimicrobial agents in food. *Journal of Biotechnology*, **233**: 106-120.
- 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-1alpha signaling. *International Journal of Oncology*, **47**: 2064–2072.
- Duman, M., Dartay, M., Yüksel, F., 2011. Munzur çayı (Tunceli) dağ alabalıkları *Salmo trutta macrostigma* (Dumeril, 1858)'nin et verimi ve kimyasal kompozisyonu. *Firat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, **23** (1): 41-45.
- Economou, T., Pournnis, N., Ntzimani, A., Savvaiddis, I. N., 2009. Nisin-EDTA treatments and modified atmosphere packaging to increase fresh chicken meat shelf-life. *Food Chemistry*, **114**:1470-1476.
- Elliason, D. J. ve Tatini, S. R., 1999. Enhanced inactivation of *Salmonella typhimurium* and verotoxigenic *Escherichia coli* by Nisin at 6.5°C. *Food Microbiology*, **16**: 257-267.
- Erdal, M. O., Yazman, Ş., Gemi, L., Yapıcı A., 2018. The effect of nonwoven electrospun pan nanofiber mat on mechanical and thermal properties of epoxy composites. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **22**: 528-535.
- Erdem, R., 2013. *Nanolif Bazlı Yara Örtüsü Yüzeyi Geliştirilmesi*, (doktora tezi, basılmamış). MÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Erkmen, O., 2013. Yeni yöntemlerle gıdaların korunması, 16. *Gıda Mikrobiyolojisi* (Editör: O. Erkmen). Elif yayın evi, 42, Türkiye. 550.
- Fernandes, M. G., Cervi, C., B., de Carvalho, R. A., Lapa-Guimaraes J., 2017. Evaluation of turmeric extract as an antioxidant for frozen streaked prochilod (*Prochilodus lineatus*) fillets. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, **26** (9): 1057-1069.
- Ferrocino, I., Greppi, A., La Storia, A., Rantsiou, K., Ercolini, D., Cocolin, L., 2016. Impact of nisin-activated packaging on microbiota of beef burgers during storage. *Applied and Environmental Microbiology*, **82**: 549-559.
- Frangos, L., Pyrgotou, N., Gitrakou, V., Ntzimani, A., Savvaiddis, I. N., 2010. Combined effects of salting, oregano oil and vacuum-packaging on the shelf-life of refrigerated trout fillets. *Food Microbiology*, **27**: 115-121.

- Gao, M., Feng, L., Jiang, T., Zhu, J., Fu, L., Yuan, D., Li, J., 2014. The use of rosemary extract in combination with nisin to extend the shelf life of pompano (*Trachinotus ovatus*) fillet during chilled storage. *Food Control*, **37**: 1-8.
- Ghaly, A. E., Dave, D., Budge, S., Brooks, M. S., 2010. Fish Spoilage Mechanisms and preservation techniques: review. *American Journal of Applied Sciences*, **7**(7): 859-877.
- Göğüş, U., Bozoğlu, F., Yurdugül, S., 2006. Comparative effects of lactic acid, nisin, coating combined and alone applications on some postmortem quality criteria of refrigerated sardina pilchardus. *Journal of Food Quality*, **29**: 658-671.
- Göğüş, K., Kolsarıcı, N., 1992. Su ürünleri teknolojisi. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*: (358), Ankara, 261.
- Gökmen, S., Palamutoğlu, R., Sariçoban, C., 2012. Gıda endüstrisinde enkapsülasyon uygulamaları. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **7**: 36-50.
- Gökoğlu, 2004. The effect of organic acid treatments on the melanosis inhibition and shelf-life in shrimp. *Acta Alimentaria*, **33**: 191-199.
- Gu, B. K., Park, S. J., Kim, M. S., Kang, C. M., Kim, J., Kim, C., 2013. Fabrication of sonicated chitosan nanofiber mat with enlarged porosity for use as hemostatic aterials. *Carbohydrate Polymers*, **97**: 65-73.
- Güçlü, S., 2012. *İki Farklı Polimerden Simultane Olarak Elektrosinning Yöntemiyle Nanolif ve Membran Üretimi*, (yüksek lisans tezi, basılmamış). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Haider, A., Haider, S., Kang, I., 2018. A comprehensive review summarizing the effect of electrospinning parameters and potential applications of nanofibers in biomedical and biotechnology. *Arabian Journal of Chemistry*, **11**: 1165-1188.
- Hampikyan, H., Çolak, H., 2007. Nisin ve gıdalardaki antimikrobiyal etkisi. *TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni*, **6**(2): 142-147.
- Hatcher, H., Planalp, R., Cho, J., Torti, F. M., Torti, S. V., 2008. Curcumin: From ancient medicine to current clinical trils. *Cellular and Molecular Life Sciences*, **65**: 1631-1652.
- Henderson, M. (2018). Characterization and modification of pectin-based nanofibers. *Proceedings of the National Conference On Undergraduate Research (NCUR)*. April 4-7, 2018. Oklahoma.
- Hirsch, E., Vass, P., Demuth, B., Perho, Zs., Bitay, E., Andersen, S. K., Vigh, T., Verreck, G., Molnar, K., Nagy, Zs. K., Marosi, Gy., 2019. Electrospinning scale-up and formulation development of PVA nanofibers aiming oral delivery of biopharmaceuticals. *Express Polymer Letters*, **13**: 590-603.
- Hosseini, H. F., Rezaei, M., Zandi, M., Farahmandghavi, F., 2016. Development of bioactive fish gelatin/chitosan nanoparticles composite films with antimicrobial propertie. *Food Chemistry*, **194**: 1266-1274.
- Hurst, A., 1981. Nisin. *Advanced İnternational Apply Microbiolgy*, **27**: 263-265.
- ICMFS, 1992. Sampling for microbiological analysis. *Microorganisms in Food*. Toronto, Canada: University of Toronto Press.
- Imura, K., Okada, A., 1998. Amino acid metabolism in pediatric patients. *Nutrition*, **14** (1): 143-148.
- İçoğlu, H. İ., 2014. *Elektrospin Yönteminde Çevresel Parametrelerin Nanolif Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi*, (doktora tezi, basılmamış). ÇÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

- İkiz, Y., 2009. Elektro Çekim Yöntemi İşlem Parametrelerinin PVA Nanolif Morfolojisine Etkileri. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **15**: 363-369.
- İpek, M., 2016. *Elektrostatik Nanolif Çekim Yöntemine Yönelik Olarak Farklı Geometri ve Özellikte Toplayıcı Plakaların Geliştirilmesi ve Kullanılan Toplayıcı Plakaların Nanolif Morfolojisi Üzerine Etkilerinin Araştırılması*, (yüksek lisans tezi, basılmamış). SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Kaasalainen, M., Makila, E., Riikonen, J., Kovalainen, M., Jarvinen, K., Herzig, K., Lehto, V. K., Salonen, J. (2012). Effect of isotonic solutions and peptide adsorption on zeta potential of porous silicon nanoparticle drug delivery formulations. *International Journal of Pharmaceuticals*, **431**: 230-236.
- Karatas, Y., Bulut, Y., Yurderi, M., Ertaş, I. E. O., Alal, O., Gülcan, M., Çelebi, M., Kivrak, H., Kaya, M., Zahmakiran, M., 2016. PdAu-MnOx nanoparticles supported on amine-functionalized SiO₂ for the room temperature dehydrogenation of formic acid in the absence of additives. *Applied Catalysis B: Environmental*, **180**: 586-595.
- Kargarzadeh, K., Ahmad, I., Abdullah, I., Thomas, R., Dufresne, A., Thomas, S., Hassan, A. 2015. Functionalized liquid natural rubber and liquid epoxidized natural rubber: a promising green toughening agent for polyester. *Journal of Applied, Polymer Science*: 132-138.
- Kayacı, F., Uyar, T., 2012. Electrospun zein nanofibers incorporating cyclodextrins. *Carbohydrate Polymers*, **90** (1): 558-568.
- Kejing, A., Haiying, L., Shidong, G., Kumar, D. N. T., Qingqing, W., 2010. Preparation of fish gelatin and fish gelatin/poly(L-lactide) nanofibers by electrospinning. *International Journal of Biological Macromolecules*, **47**: 380-388.
- Kılıç, Ö., 2016. *Vakum Paketlenerek Buzdolabında Depolanmış Gökkuşluğu Alabalık (Oncorhynchus mykiss Walbaum, 1972) Filetolarının Kalitesine Çörek Otu (Nigella sativa L.) Ve Yeşil Çay (Camellia sinensis L.) Ekstraktarı ile Yağlarının Etkileri*, (yüksek lisans tezi, basılmamış). RTEÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize.
- Klaenhammer, T. R., 1993. Genetics of bacteriocins produced by lactic acid bacteria. *FEMS Microbiol*, **12**: 39-85.
- Krivota, T., Cirkavos, A., Maciulyte, S., Staneviciene, R., Budriene, S., Serviene, E., Sereikatie, J., 2016. Nisin-loaded pectin nanoparticles for food preservation. *Food Hydrocolloids*, **54**: 49-56.
- 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*, **57**: 2889-2895.
- Koponen, O., 2004. *Studies of Producer Self-protection and Nisin Biosynthesis of Lactococcus lactis* (Doctoral dissertation). HÜ, Institute of Biotechnology and Department of Applied Chemistry and Microbiology, Helsinki.
- Kozanoğlu, G. S., 2006. *Elektrospinning Yöntemiyle Nanolif Üretim Teknolojisi* (yüksek lisans tezi, basılmamış). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kumru, A., 2013. *Elektroüretimle Nanolif Eldesinde Etki Eden Faktörlerin ve Jelatin-Pektin İçeren Nanoliflerin Model Gıdaların Reolojik Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi*, (yüksek lisans tezi, basılmamış). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Kurt, Ş., Zorba, Ö., 2005. Bakteriyosinler ve gıdalarda kullanım olanakları. *YYÜ Veteriner Fakültesi Dergisi*, **16**(1): 77-83.
- Kwak, H. W., Shin, M., Lee, J. Y., Yun, H., Song, D. W., Yang, Y., Shin, B., Park, Y. H., Lee, H. K., 2017. Fabrication of an ultrafine fish gelatin nanofibrous web from an aqueous solution by electrospinning. *International Journal of Biological Macromolecules*, **102**: 1902-1103.
- Lakshmanan, P. T., 2000. Fish spoilage and quality assessment. In T. S. G. Iyer, M. K. Kandoran, M. Thomas, P. T. Mathew (Eds.). *Quality assurance in seafood processing*, 26-40. India: Cochin: Society of Fisheries Technologists.
- Langroudi, H. F., Soltani, M., Kamali, A., Ghomi, M. R., Hoseini, E. E., Benjakul, S., Heshmatipour, Z., 2011. Effect of *Listeria monocytogenes* Inoculation, sodium acetate and nisin on microbiological and chemical quality of grass carp *Ctenopharyngodon idella* during refrigeration storage. *African Journal of Biotechnology*, **10**: 8484-8490.
- Lefevre, F., Cos, I., Pottinger, T. G., Bugeon, J., 2016. Selection for stress responsiveness and slaughter stress affect flesh quality in pan-size rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, **464**:654-664.
- Lian, Y., Zhan, J., Zhang, K., MO, X., 2014. Fabrication and characterization of curcumin-loaded silk fibroin/P(LLA-CL) nanofibrous scaffold. *Frontiers of Materials Science*, **8**(4): 354-362.
- Lôpez, C. C., Serio, A., Montalvo, C., Ramirez, C., Alvarez, J. A. P., Paperella, A., Mastrocola, D., Martuscelli, M., 2017. Effect of nisin on biogenic amines and shelf life of vacuum packaged rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets. *Journal of Food Science and Technology*, **54**(10): 3268-3277.
- Lôpez-Caballero, M. E., Gómez-Guillen, M. C., Perez-Mateos, M., Montero, P., 2005. A chitosan-gelatin blend as a coating for fish patties. *Food Hydrocolloids*, **19** (2): 303-311.
- Lu, F., Ding, Y., Ye, X., Liu, D., 2010. Cinnamon and nisin in alginate-calcium coating maintain quality of fresh northern snakehead fish fillets. *LWT-Food Science and Technology*, **43**: 1331-1335.
- Lu, G. W., Gao, P., 2010. Emulsions and Microemulsions for Topical and Transdermal Drug Delivery (Chapter 3). *Non-Invasive and Minimally-Invasive Drug Delivery Systems for Pharmaceutical and Personal Care Products. Personal Care & Cosmetic Technology*, 59-94.
- Lu, W., Ma, M., Xu, H., Zhang, B., Cao, X., Guo, Y., 2015. Gelatin nanofibers prepared by spiral-electrospinning and cross-linked by vapor and liquid-phase glutaraldehyde. *Materials Letters*, **140**: 1-4.
- Lubelski, J., Rink, R., Khusainov, R., Moll, G. N., Kuipers, O. P., 2008. Biosynthesis, immunity, regulation, mode of action and engineering of the model lantibiotic nisin. *Cellular Molecular Life Science*, **65**(3): 455-476.
- Mainka, H., Hilfert, L., Busse, S., Edelman, F., Haak, E., Herrmann, A. S., 2015. Characterization of the major reactions during conversion of lignin to carbon fiber. *Journal of Material Research and Technology*, **4**: 377-391.
- Masaki, S., Nakano, Y., Ichiyoshi, K., Kawamoto, K., Takeda, A., Ohnuki, T., Utsunomiya, S., 2017. Adsorption of extracellular polymeric substances derived from *S. cerevisiae* to ceria nanoparticles and the effects on their colloidal stability. *Environments*, **4**: 48.

- Maturin, L., Peeler, J. T., 1998. *Bacteriological Analytical Manual*. Sixth Edition, Chap. 3.
- Mehrasa, M., Asadollahi, M. A., Ghaedi, K., Salehi, H., Arpanaei, A., 2015. Electrospun aligned PLGA and PLGA/gelatin nanofibers embedded with silica nanoparticles for tissue engineering. *International Journal of Biological Macromolecules*, **79**: 687-695.
- Meral, R., Ceylan, Z., Köse, Ş., 2019. Limitation of microbial spoilage of rainbow trout fillets using characterized thyme oil antibacterial nanoemulsions. *Journal of Food Safety*, **10.1111/ifs.12644**: 1-7.
- Mirshekari, S., Safari, R., Adel, M., Motalebi Moghanjoghi, A. A., Khalili, E., Bonyadian, M., 2016. Antimicrobial and antioxidant effects of nisin Z and sodium benzoate in vacuum packed caspian kutum (*Rutilus frisii*) fillet stored at 4 °C. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, **15**(2): 789-801.
- Moini, S., Tahergorabi, R., Seyed Vali, H., Rabbani, M., Tahergorabi, Z., Feas, X., Aflaki, F., 2009. Effect of gamma radiation on the quality and shelf life of refrigerated rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets. *Journal of Food Protection*, **72**: 1419e1426
- Nedovic, V., Kalusevic, A., Manojlevic, V., Levic, S., Bugarski, B., 2011. An overview of encapsulation technologies for food applications. *Procedia Food Science*, **1**: 1806-1815.
- Negi, P. S., Jayaprakasha, G. K., Jagan Mohan Rao, L., Sakariah, K. K., 1999. Antibacterial activity of turmeric oil: a by-product from curcumin manufacture. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **47**: 4297-4300.
- Nes, I. F., Diep, D. B., Havarstein, L. S., Brurberg, M. B., Eijsink, V., Holo, H., 1996. Biosynthesis of bacteriocins in lactic acid bacteria. *Antonie Van Leeuwenhoek*, **70**: 113-28.
- Nykanen A., Lapvetelainen A., Hietanen, R. M., Kallio, H., 1999. Applicability of lactic acid and nisin to improve the microbiological quality. *International Journal of Food Microbiology*, **208**: 88-98.
- Nykanen, A., Weckman, K. ve Lapvetelainen, A., 2000. Synergistic inhibition of *L. monocytogenes* on cold-smoked rainbow trout by nisin and sodium lactate. *International Journal of Food Microbiology*, **61**: 63-72.
- Oğuzhan, P., Angiş, P., 2012. Effect of salting and packaging treatments on fresh rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets during storage at refrigerator temperatures. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, **18** (3): 443-448.
- Ojha, S. S., Afshari, M., Kotek, R., Gorga, R. E., 2008. Morphology of electrospun nylon-6 nanofibers as a function of molecular weight and processing parameters. *Journal of Applied Polymer Science*, **108** (1): 308-319.
- Ojaah, S. M., Rezaei, M., Razavi, S. H., Hosseini, S. M. H., 2010. Effect of chitosan coatings enriched with cinnamon oil on the quality of refrigerated rainbow trout, *Food Chemistry*, **120**: 193-198.
- Okutan, N., 2013. *Elektrodöndürme Yöntemiyle Elde Edilen Jelatin Nanoliflerinin Emülsiyonlarda Stabilize Edici Olarak Kullanılması*, (yüksek lisans tezi, basılmamış). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Okutan, N., Terzi, P., Altay, F., 2014. Affecting parameters on electrospinning process and characterization of electrospun gelatin nanofibers. *Food Hydrocolloids*, **39**: 19-26.

- Onwulata, C. I., 2012. Encapsulation of new active ingredients. *Annual Reviews Food Science Technology*, **3**: 183-202.
- Özoğul, Y., Yuvka, I., Uçar, D. M., Kosker, A. R., Öz, M., Özoğul, F., 2017. Evaluation of effects of nanoemulsions based on herb essential oils (rosemary, laurel, thyme and sage) on sensory, chemical and microbiological quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets during icestorage. *Food Science Technol*, **75**: 67-84.
- Özpolat, E., 2019. Limon (*Citrus limon*) ve acı portakal (*Citrus aurantium*) uçucu yağlarının 4 ± 1 °C’de muhafaza edilen gökkuşuğu alabalıklarının (*Oncorhynchus mykiss*) mikrobiyolojik kalitesi üzerine etkileri. *Gıda*, **44**(2):185-190.
- Pakravan, M., Heuzey, M. C., Ajji, A., 2011. A fundamental study of chitosan/PEO electrospinning. *Polymer*, **52**(21): 4813-4824.
- Raeisi, M., Tajik, H., Aliakbarlu, J., Mirhosseini, S. H., Hosseini, S. M. H., 2015. Effect of carboxymethyl cellulose-based coatings incorporated with Zataria multiflora Boiss. Essential oil and grape seed extract on the shelf life of rainbow trout fillets. *LWT-Food Science and Technology*, **64**(2): 898-904.
- Ramakrishna, S., Fujihara, K., Teo, W., Yong, T., Ma, Z., Ramaseshan, R., 2006. Electrospun nanofibers: solving global issues. *Materialstoday*, **9**(3): 40-50.
- Ruiz-Capillas, C., Moral, A., 2001. Correlation between biochemical and sensory quality indices in hake stored in ice. *Food Research International*, **34**: 441-447.
- Sampath, M., Lakra, R., Korrapati, P., Sengottuvelan, B., 2014. Curcumin loaded poly (lactic-co-glycolic) acid nanofibers for the treatment of arcinoma. *Colloids and Surfaces B:Biointerfaces*, **117**: 128-134.
- Schillinger, U., Becker, B., Vignolo, G., Holzapfel, W. H., 2001. Efficacy of nisin in combination with protective cultures against *L. monocytogenes* Scott A in tofu. *International Journal of Food Microbiology*, **71**: 159-168.
- Schormuller, J., 1969. *Handbuch der Lebensmittel Chemie, Band IV, Fette und Lipoide (Lipids)*. Springer-Verlag Berlin: Hiedelberg-New York. p: 872-78.
- Seil, J. T., Webster, T. J., 2012. Antimicrobial applications of nanotechnology: methods and literature. *International Journal of Nanomedicine*, **7**: 2767-2781.
- Shadman, S., Hosseini, S. E., Langroudi, H. E., Shabani, S., 2016. Evaluation of the effect of a sunflower oil-based nanoemulsion with Zataria multiflora Boiss. Essential oil on the physicochemical properties of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets during cold storage. *LWT-Food Science and Technology*, **79**: 511-517.
- Shahinfar, R., Saeid, K., 2017. Sensory analysis of fish burgers containing *Ziziphora clinopodioides* essential oil and nisin: the effect of natural preservatives and microencapsulation. *Iran Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, **36** (5): 77-88.
- Shaviklo, A. R., Fahim, A., 2014. Quality improvement of silver carp fingers by optimizing the level of major elements influencing texture. *International Food Research Journal*, **21** (1): 283-290.
- Shlar, I., Povenerov, E., Vinokur, Y., Horev, B., Droby, S., Rodov, V., 2015. High-throughput screening of nanoparticle-stabilizing ligands: application to preparing antimicrobial curcumin nanoparticles by antisolvent precipitation. *Nano-Micro Letters*, **7**: 68-79.

- Stone, H., Sidel, J. L., 2004. The organization and operation of a sensory evaluation program, 2. *Sensory Evaluation Practices* (Editor: S. L. Taylor). Redwood City, California, USA. 365.
- Simon-Deckers, A., Loo, S., Mayne-L'hermite, M., Herlin-Boime, N., Menguy, N., Reynaud, C., Gouget, B., Carriere, M., (2009). Size-, composition- and shape-dependent toxicological impact of metal oxide nanoparticles and carbon nanotubes toward bacteria. *Environmental Science and Technology*, **43**: 8423-8429.
- Sorfa, C., Tsironi, T., Taoukis, P. S., 2018. Modeling the effect of pre-treatment with nisin enriched osmotic solution on the shelf life of chilled vacuum packed tuna. *Journal of Food Engineering*, **216**: 125-131.
- Souza, B. W. S., Cerqueira, M. A., Ruiz, H. A., Martins, J. T., Casariego, A., Teixeira, J. A., Vicente, A. A., 2010. Effect of chitosan-based coating on the shelf life of salmon (*Salmo salar*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **58**: 11456-11462.
- Sun, X., Williams, G. R., Hou, X., Zhu, L., 2013. Electrospun curcumin-loaded fibers with potential biomedical applications. *Carbohydrate Polymers*, **94**: 147-153.
- Sun, X., Guo, X., Ji, M., Wu, J., Zhu, W., Wang, J., Cheng, C., Chen, L., Zhang, Q., 2019. Preservative effects of fish gelatin coating enriched with CUR/ β CD emulsion on grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets during storage at 4 °C. *Food Chemistry*, **272**: 643-652.
- Sze, A., Erickson, D., Ren, L., Li, D., 2003. Zeta-potential measurement using the smoluchowski equation and the slope of the current-time relationship in electroosmotic flow. *Journal of Colloid and Interface Science*, **261**: 402-410.
- Şen, E. B., Çaklı, Ş., Kılınç, B., 2017. Dondurulmuş mezzit ve sardalyadan üretilen surimi ve surimi jellerinin kalite parametrelerindeki değişimler. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **34** (1): 81-91.
- Şener, A. G., 2011. *Elektro Üretim Yöntemiyle Sodyum Aljinat ve Mısır Nişastası İçeren Nanolif Eldesine Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi*, (yüksek lisans tezi, basılmamış). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tarhan, Ö., Gökmen, V., Harsa, Ş., 2010. Nanoteknolojinin Gıda Bilim ve Teknolojisi Alanındaki Uygulamaları. *Gıda*, **35** (3): 219-225.
- Tarladgis, B. G., Watts, B. M., Younathan, M. T., Dugan, L., 1960. A distillation method for the quantitative determination of malonaldehyde in rancid foods. *Journal of the American Oil Chemistry Society*, **37** (1): 44-48.
- Tatlısu, B., Yılmaz, M. T., Arıcı, M., 2019. Fabrication and characterization of thymol-loaded nanofiber mats as a novel antimould surface material for coating cheese surface. *Food Control*, **21**: 100347.
- Tavakoli, S., Naseri, M., Abedi, E., Imani, A., 2018. Shelf-life enhancement of whole rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) treated with Reshgak ice coverage. *Food Science & Nutrition*, **6**(4): 953-961.
- Terzi, P., 2013. *Elektrodöndürme Yöntemiyle Elde Edilen Jelatin Nanoliflerinin Gıdalarda Kıvam Verici Olarak Kullanılması*, (yüksek lisans tezi, basılmamış). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tucker, N., Stanger, J. J., Staiger, M. P., Razzaq, H., Hofman, K., 2012. The history of the science and technology of electrospinning from 1600 to 1995. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, **Özel Sayı**: 63-73.

- Üstümkol, N., 2006. *Farklı Ortam Koşullarında Nisin, Lizozim ve Bazı Bitkisel Kaynakların Küf Gelişiminin Kontrol Altına Alınması Üzerine Etkileri*, (yüksek lisans tezi, basılmamış). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Uçar, Y., 2018. *Farklı Konsantrasyonlarda Kullanılan Nisinin Soğukta (4 ± 2 °C) ve Vakum Paketlenerek (*Dicentrarchus labrax*, Linnaeus, 1758) Filetolarının Kalite Parametreleri Üzerine Etkileri*, (doktora tezi, basılmamış). ÇÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- 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.
- Xia, Y., Xinhang, W., Wang, Y., Wanag, Y. 2014. pH-range responsive hyperbranched polyethers: synthesis and responsiveness. *Polymer Chemical*, **5**(12): 3763-3770.
- Yang, D., Li, Y., Nie, J., 2007. Preparation of gelatin/PVA nanofibers and their potential application in controlled release of drugs. *Carbohydrate Polymers*, **69**: 538-543.
- Yağız, Y., Kristinsson, H. G., Balaban, M. O., Marshall, M. R., 2007. Effect of high pressure treatment on the quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and mahi mahi (*Coryphaena hippurus*). *Journal of Food Science*, **72** (9): 509-515.
- 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.
- Yılmaz, A., Bozkurt, F., Çiçek, P. K., Dertli, E., Durak, M. Z., Yılmaz, M. T., 2016. A novel antifungal surface-coating application to limit postharvest decay on coated apples: molecular, thermal and morphological properties of electrospun zein-nanofiber mats loaded with curcumin. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **37**: 74-83.
- Yu, D., Xu, Y., Jiang, Q., Yang, F., Xia, W., 2017. Freshness assessment of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets during storage at 4 °C by physicochemical, microbiological and sensorial evaluations. *Journal of Food Safety*, **10.1111/jfs.12305**: 1-9.
- Zakipour Rahimabadi, E., Rigi, M., Rahnama, M., 2013. Combined effects of zataria multiflora boiss essential oil and nisin on the shelf-life of refrigerated rainbow trout (*Onchorynchus mykiss*) fillets. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, **12** (1): 115-126.
- Zuckerman, H., Avraham, R. B., 2002. Control of growth of *L. monocytogenes* in fresh salmon using microgard™ and nisin. *Lebensm-Wiss U-Technol*, **35**: 543-548.
- Wen, P., Zhu, D., Wu, H., Zong, M., Jing, Y., Han, S., 2016. Encapsulation of cinnamon essential oil in electrospun nanofibrous film for active food packaging. *Food Control*, **59**: 366-376.
- Wu, T., Wu, C., Fang, Z., Ma, X., Chen, S., Hu, Y., 2017. Effect of chitosan microcapsules loaded with nisin on the preservation of small yellow croaker. *Food Control*, **79**: 317-324.



ÖZ GEÇMİŞ

Aslıhan ALAV, 1994 yılında Van'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Van'da tamamladı. 2013 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nü kazandı ve 2017 yılında mezun oldu. 2017 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı.



T.C
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 18/09/2019

Tez Başlığı / Konusu:

Biyoaktif Madde ve Bakteriyosin Yüklü Nanoliflerin Gökkuşığı Alabalığının (*Oncorhynchus mykiss*) Bazı Kalite Parametreleri Üzerine Etkisi

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 84 sayfalık kısmına ilişkin 04/09/2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 9 (Dokuz) dur.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.


Aslıhan ALAV

18.09.2019

Adı Soyadı: Aslıhan ALAV
Öğrenci No: 17910001109
Anabilim Dalı: Gıda Mühendisliği
Programı: Gıda Mühendisliği
Statüsü: Y. Lisans

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR

Dr.Öğr. Üyesi Raciye MERAL

(Unvan, Ad Soyad, İmza)



ENSTİTÜ ONAYI

UYGUNDUR

(Unvan, Ad Soyad, İmza)

Enstitü Müdürü