

T.C.  
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI



**SUSAM PROTEİNLERİNDEN İZOLAT ELDESİ VE  
ELEKTROSPİNNİNG YÖNTEMİ İLE NANOLİF ÜRETİMİ:  
TAHİNDE YAĞ AYRIŞMASI ÜZERİNE ETKİLERİ**

Doktora Tezi

**Mustafa Onur YÜZER**

Danışman

**Prof. Dr. Hüseyin GENÇCELEP**

Bu çalışma, PYO.MUH.1904.20.012 numaralı Bilimsel Araştırma Projesi olarak Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından desteklenmiştir.

SAMSUN  
2021

## TEZ KABUL VE ONAYI

Mustafa Onur YÜZER tarafından, Prof. Dr. Hüseyin GENÇCELEP danışmanlığında hazırlanan “Susam Proteinlerinden İzolat Eldesi ve Elektrospinning Yöntemi ile Nanolif Üretimi: Tahinde Yağ Ayrışması Üzerine Etkileri” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 22.12.2021 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	İmza	Sonuç
<b>Başkan</b> (Danışman)	Prof. Dr. Hüseyin GENÇCELEP Ondokuz Mayıs Üniversitesi Gıda Teknolojisi Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/>
			Kabul
			<input type="checkbox"/>
			Ret
<b>Üye</b>	Prof. Dr. Yıldray TOPCU Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kimyasal Teknolojiler Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/>
			Kabul
			<input type="checkbox"/>
			Ret
<b>Üye</b>	Doç. Dr. Münir ANIL Ondokuz Mayıs Üniversitesi Gıda Teknolojisi Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/>
			Kabul
			<input type="checkbox"/>
			Ret
<b>Üye</b>	Doç. Dr. Abdullah KURT Selçuk Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/>
			Kabul
			<input type="checkbox"/>
			Ret
<b>Üye</b>	Dr. Öğr. Üyesi Sümeyye ŞAHİN Ordu Üniversitesi Gıda Bilimleri Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/>
			Kabul
			<input type="checkbox"/>
			Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

ONAY

... / ... / ...

Prof. Dr. Ali BOLAT  
Enstitü Müdürü

## BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Doktora tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi?

Evet  (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır

İmza

07 / 12 / 2021

Mustafa Onur YÜZER

## TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

**Tez Başlığı :** “Susam Proteinlerinden İzolat Eldesi ve Elektrospinning Yöntemi ile Nanolif Üretimi: Tahinde Yağ Ayrışması Üzerine Etkileri”

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 28/11/2021 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 11

Tek kaynak oranı : % 2 çıkmıştır.

İmza

07 / 12 / 2021

Prof. Dr. Hüseyin GENÇCELEP

## ÖZET

### SUSAM PROTEİNLERİNDEN İZOLAT ELDESİ VE ELEKTROSPİNNİNG YÖNTEMİ İLE NANOLİF ÜRETİMİ: TAHİNDE YAĞ AYRIŞMASI ÜZERİNE ETKİLERİ

Mustafa Onur YÜZER  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı  
Doktora, Aralık/2021  
Danışman: Prof. Dr. Hüseyin GENÇCELEP

Bu çalışmada, tahinin oda sıcaklığında depolanması (0., 30., 60. ve 90. gün) sırasında gerçekleşen yağ fazı ayrılmasını önleyebilmek veya en aza indirebilmek amacıyla, susam protein izolatlarının (SPI) ve elektrospinning yöntemiyle üretilen susam proteinleri içeren nanoliflerin (SPINL ve PVANL) tahin içerisine ilave edilmesiyle, yağ fazının yapıdan ayrılmasına engel oluşturmak suretiyle etki etmesi ve depolama süresince üründe meydana gelen bazı değişimlerin araştırılması amaçlanmıştır. Bu şekilde tahine yağ ayrışmasını önlemek için ilave edilecek “katkı”nın aslında tahinin ana maddesi susam olmasının sağlanabileceği gösterilmiştir.

Fabrikadan hammadde olarak temin edilen susam, tahin ve yağı uzaklaştırılan susamda kimyasal analizler, pH, zeta potansiyeli ve hidrodinamik çap analizleri yapılmıştır. Elektrospinning işleminde kullanılacak çözeltinin özellikleri için elektriksel iletkenlik ve viskozite ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen protein izolatları ve nanoliflerin karakterizasyonunu belirlemek amacıyla bu örneklerde (SPI, SPINL ve PVANL gruplarında) taramalı elektron mikroskopisi (SEM), diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC), termogravimetrik analiz (TGA), X-ray difraksiyon analizi (XRD), Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca SPI’larda amino asit bileşimi, zeta potansiyeli, hidrodinamik çap ve fonksiyonel özelliklerine bakılmıştır. Tahin örneklerinde ise depolama esnasındaki değişimleri belirleyebilmek için zeta potansiyeli, hidrodinamik çap, reolojik özellikleri, pH ve ayrılan yağ oranı analiz edilmiştir. Son olarak parametreler arasındaki ilişkiyi açıklayabilmek için istatistiksel analizler yapılmıştır.

Tahinlerin depolama stabilitesi, üreticiler ve tüketiciler için ana endişe kaynağıdır. Kendiliğinden meydana gelen yağ fazı ayrılması tüketiciler tarafından sorun olarak görülmektedir. Uygulanan depolama zamanının ve katkıların tahinlerde ayrılan yağ miktarı üzerine çok önemli ( $p < 0.01$ ) etkileri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda yağ fazının yapıdan ayrılmasının kontrol gruplarına göre SPI ilavesiyle %24.73’e, SPINL ilavesiyle ise %63.02’ye kadar önlenebildiği belirlenmiştir. Ayrıca ilave edilen katkıların tahin örneklerinin görünür viskozite değerlerini değiştirmiştir. Görünür viskozite değerleri 1.11-6.26 Pa.s arasında değişmiştir. Katkıların tahin örneklerinin zeta potansiyeli ve hidrodinamik çap değerleri üzerine etkisi önemsiz ( $p > 0.05$ ) olarak belirlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Tahin, Protein İzolatı, Reoloji, Yağ Ayrılması, Elektrospinning

## ABSTRACT

### OBTAINING ISOLATE FROM SESAME PROTEINS AND PRODUCTION OF NANOFIBERS BY ELECTROSPINNING METHOD: ITS EFFECTS ON OIL SEPARATION IN SESAME PASTE

Mustafa Onur YÜZER

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Food Engineering

Ph.D., December 2021

Supervisor: Prof. Dr. Hüseyin GENÇCELEP

This study was carried out in order to prevent or minimize the oil phase separation that occurs during storage of tahini at room temperature (0., 30., 60. and 90. days). For this, sesame protein isolates (SPI) and nanofibers produced by electrospinning method (SPINL and PVANL) containing sesame proteins were added to sesame paste. It is aimed to prevent the oil phase from separating from the structure and to investigate some changes in the product during storage. In this way, it has been shown that the "additive" to be added to prevent oil separation in sesame paste can actually be made from sesame, the main ingredient of sesame paste.

Dry matter, crude oil, crude protein, ash, pH, zeta potential and hydrodynamic diameter analyzes were made in sesame, tahini and defatted sesame from the factory as raw materials. Electrical conductivity and viscosity measurements were made for the properties of the solution to be used in the electrospinning process. In order to determine the characterization of the obtained protein isolates and nanofibers, scanning electron microscopy (SEM), differential scanning calorimetry (DSC), thermogravimetric analysis (TGA), X-ray diffraction analysis (XRD), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) analyzes were performed. In addition, amino acid composition, zeta potential, hydrodynamic diameter, protein solubility, water and oil holding capacity, foaming and emulsification properties were also examined in SPIs. In sesame paste samples, on the other hand, zeta potential, hydrodynamic diameter, rheological properties, pH and separated oil ratio were analyzed in order to determine the changes before, after and during storage. Finally, statistical analyzes were made to explain the relationship between parameters.

The storage stability of sesame paste is a major concern for producers and consumers. Spontaneous oil phase separation is seen as a problem by consumers. Very important ( $p < 0.01$ ) effects of applied storage time and additives on the amount of oil separated in sesame paste were determined. As a result of the study, it was determined that the separation of the oil phase could be prevented up to 24.73% with the addition of SPI and up to 63.02% with the addition of SPINL compared to the control groups. In addition, the added additives changed the apparent viscosity values of the sesame paste samples. The apparent viscosity values ranged from 1.11 to 6.26 Pa.s. The effects of additives on zeta potential and hydrodynamic diameter values of tahini samples were determined to be insignificant ( $p > 0.05$ ).

**Keywords:** Sesame paste, Protein İsolate, Rheology, Oil Separation, Electrospinning

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Doktora tez çalışmalarım esnasında akademik bilgisini, tecrübelerini, anlayış ve ilgisini hiçbir zaman esirgemeyen, her zaman yol gösteren, akademik çalışmalarım için imkan sunan danışman hocam Prof. Dr. Hüseyin Gençcelep'e sonsuz saygı, sevgi ve içtenlikle şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmalarımın bilimsel açıdan gelişmesi yönünde desteklerini esirgemeyen tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Yıldırım Topcu ve Doç. Dr. Münir Anıl'a teşekkür ederim.

Göstermiş olduğu ilgisi, paylaştığı bilgi ve tecrübeleri ile hem akademik hem günlük hayatıma önemli dokunuşları olan, akademik çalışmalarım için maddi ve manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim, değerli bir ağabeyim olarak gördüğüm Doç. Dr. Enes Dertli'ye ve yine akademik çalışmalarımın maddi manevi desteğini gördüğüm Dr. Hümeysra İspirli'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Doktora eğitimime başlama serüveninde manevi desteğini gördüğüm Doç. Dr. Furkan Türker Sarıcaoğlu'na, reoloji analizlerinin gerçekleştirilmesinde yardımlarını gördüğüm Arş. Gör. Ayşegül Beşir'e ve hammadde temininde her zaman yardımcı olan Tufan Osman Yayla nezdinde Pro Gıda'ya teşekkür ederim.

Çalışmalarım esnasında manevi olarak yanımda bulunan arkadaşlarım Ediz Boz'a, Süleyman Tekmen'e ve Emin Uslu'ya teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca ve çalışmalarım süresince beni daima destekleyen ve destekleriyle her zaman yanımda olarak bu günlere gelmemde en büyük katkı sahipleri olan değerli babam Müştak Yüzer'e ve annem Gülçin Yüzer'e minnetlerimi sunmayı bir borç bilir ve içtenlikle teşekkür ederim.

Desteğini hep yanımda hissettiğim, gösterdiği sabır, fedakarlıklar ve laboratuvarındaki yardımları neticesinde sonuçlandırabildiğim tez çalışmam için meslektaşım, sevgili eşim Elvan Yüzer'e ve biricik canım oğlum Ertuğrul'a gönül dolusu teşekkürlerimi sunarım ve tezimi onlara armağan etmekten gurur duyarım.

Çalışmayı PYO.MUH.1904.20.012 numaralı Bilimsel Araştırma Projesi olarak destekleyen Ondokuz Mayıs Üniversitesi Proje Yönetim Ofisi'ne teşekkür ederim.

Mustafa Onur YÜZER

## İÇİNDEKİLER

<b>TEZ KABUL VE ONAYI .....</b>	<b>i</b>
<b>BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI .....</b>	<b>ii</b>
<b>TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI .....</b>	<b>ii</b>
<b>ÖZET .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iv</b>
<b>ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....</b>	<b>v</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>vi</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ.....</b>	<b>x</b>
<b>TABLolar DİZİNİ.....</b>	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ.....</b>	<b>5</b>
2.1. Susam.....	5
2.2. Tahin .....	8
2.3. Nanoteknoloji ve Elektrospinning .....	11
2.4. Kaynak Özetleri .....	19
2.4.1. Susam ve Susam Proteinleri ile İlgili Çalışmalar.....	19
2.4.2. Tahin ile İlgili Çalışmalar .....	22
2.4.3. Nanolifler ile İlgili Çalışmalar .....	27
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>30</b>
3.1. Materyal .....	30
3.1.1. Susam ve Tahin.....	30
3.1.2. Kimyasallar ve Standartlar .....	30
3.2. Yöntem.....	30
3.2.1. Üretim Yöntemleri .....	30
3.2.1.1. Protein İzolatı Üretimi .....	32
3.2.1.2. Elektrospinning Yöntemi ile Nanolif Üretimi .....	34
3.2.1.3. Tahine Protein İzolatı ve Nanolif İlave Edilmesi.....	36
3.2.2. Analiz Yöntemleri.....	36
3.2.2.1. Susam, Yağsız Susam, Susam Protein İzolatı ve Tahinin pH ile Bileşim Analizleri .....	36
3.2.2.1.1. pH Analizi.....	36
3.2.2.1.2. Su İçeriğinin Belirlenmesi .....	37
3.2.2.1.3. Protein İçeriğinin Belirlenmesi.....	37
3.2.2.1.4. Yağ İçeriğinin Belirlenmesi.....	37
3.2.2.1.5. Kül İçeriğinin Belirlenmesi .....	37

3.2.2.1.6. Zeta Potansiyelinin Belirlenmesi .....	37
3.2.2.1.7. Hidrodinamik Çapların Belirlenmesi.....	38
3.2.2.1.8. Susam Protein İzolatının Amino Asit Analizi .....	38
3.2.2.2. Nanolif Üretiminde Kullanılan Besleme Çözeltisinin Analizleri .....	39
3.2.2.2.1. Elektriksel İletkenlik Ölçümü.....	39
3.2.2.2.2. Viskozite Ölçümü .....	39
3.2.2.3. Protein İzolatının Fonksiyonel Analizleri .....	39
3.2.2.3.1. Çözünürlük .....	39
3.2.2.3.2. Su ve Yağ Tutma Kapasitesi .....	40
3.2.2.3.3. Emülsiyon Özellikleri.....	40
3.2.2.3.4. Köpüklenme Özellikleri .....	41
3.2.2.4. Protein İzolatının ve Nanoliflerin Karakterizasyonu .....	42
3.2.2.4.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	42
3.2.2.4.2. X-ışını Kırınımı (XRD) .....	42
3.2.2.4.3. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) .....	42
3.2.2.4.4. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) .....	42
3.2.2.4.5. Termogravimetrik Analiz (TGA) .....	43
3.2.2.5. Tahinde Depolama Analizleri .....	43
3.2.2.5.1. Ayrılan Yağ Miktarının Belirlenmesi.....	43
3.2.2.5.2. Reolojik Analizler.....	43
3.2.2.5.3. pH Analizi.....	44
3.2.2.5.4. Zeta Potansiyelinin Belirlenmesi.....	44
3.2.2.5.5. Hidrodinamik Çapların Belirlenmesi.....	45
3.2.2.6. İstatistiksel Analizler .....	45
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>46</b>
4.1. Susam, Yağsız Susam, Susam Protein İzolatı ve Tahinin pH ile Bileşim Analizleri..	46
4.2. Nanolif Üretiminde Kullanılan Besleme Çözeltisinin Analizleri .....	50
4.3. Protein İzolatının Fonksiyonel Analizleri .....	52
4.3.1. Çözünürlük.....	53
4.3.2. Su ve Yağ Tutma Kapasitesi.....	54
4.3.3. Emülsiyon Özellikleri .....	55
4.3.4. Köpüklenme Özellikleri.....	56
4.4. Protein İzolatının ve Nanoliflerin Karakterizasyonu .....	57
4.4.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	57
4.4.2. X-ışını Kırınımı (XRD).....	60
4.4.3. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR).....	61
4.4.4. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC).....	63

4.4.5. Termogravimetrik Analiz (TGA).....	65
4.5. Tahinde Depolama Analizleri .....	67
4.5.1. Ayrılan Yağ Miktarının Belirlenmesi .....	67
4.5.2. Reoloji Analizi .....	72
4.5.3. pH Analizi.....	80
4.5.4. Zeta Potansiyelinin Belirlenmesi .....	82
4.5.5. Hidrodinamik Çapların Belirlenmesi .....	84
4.6. Pearson Korelasyon Analizi.....	85
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>88</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>90</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>103</b>
<b>ÖZ GEÇMİŞ.....</b>	<b>112</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

<b>dk</b>	: Dakika
<b>g</b>	: G kuvveti veya Bağıl merkezkaç kuvveti (RCF)
<b>rpm</b>	: Dönme hızı birimi, devir/dakika
<b>μS</b>	: Mikrosiemens
<b>kV</b>	: Kilovolt
<b>psi</b>	: Basınç birimi
<b>pH</b>	: Hidrojen iyonu konsantrasyonunun (-) logaritması
<b>HCl</b>	: Hidroklorik asit
<b>NaOH</b>	: Sodyum hidroksit
<b>LC-MS/MS</b>	: Sıvı Kromatografisi-Kütle Spektrometresi

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Tahin üretim prosesi .....	9
Şekil 2.2. Elektrosponing düzeneği.....	14
Şekil 2.3. Taşıyıcı polimer ve protein arasındaki ilişki.....	18
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan susam ve tahin.....	30
Şekil 3.2. Çalışmanın işlem basamakları ve analizleri.....	31
Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan BSA standart eğrisi.....	32
Şekil 3.4. Susam protein izolasyonunda en uygun izoelektrik nokta (pI), tuz konsantrasyonları ve pH değerleri.....	33
Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan elektrosponing sistemi.....	35
Şekil 4.1. pH'nın susam protein izolatının zeta potansiyeline etkisi.....	48
Şekil 4.2. Çalışmada üretilen nanolifler; (a) SPINL, (b) PVANL.....	52
Şekil 4.3. pH'ın susam protein izolatının çözünürlüğüne etkisi.....	54
Şekil 4.4. Susam protein izolatının SEM görüntüleri: (a) x5000 büyütme; (b) x10000 büyütme; (c) x30000 büyütme.....	58
Şekil 4.5. PVANL örneğinin SEM görüntüleri: (a) x5000 büyütme; (b) x10000 büyütme; (c) x30000 büyütme.....	59
Şekil 4.6. SPINL örneğinin SEM görüntüsü ve lif çap dağılımı (x5000 büyütme).....	59
Şekil 4.7. Örneklerin XRD spektrumları.....	61
Şekil 4.8. Örneklerin FTIR spektrumları.....	62
Şekil 4.9. Örneklerin DSC termogramları.....	64
Şekil 4.10. Örneklerin TGA termogramları.....	66
Şekil 4.11. Zaman x muamele interaksiyonunun tahin örneklerinin ayrılan yağ miktarı üzerine etkisi.....	71
Şekil 4.12. Zaman x muamele interaksiyonunun tahin örneklerinin ayrılan yağ miktarı değişimi üzerine etkisi.....	71
Şekil 4.13. Tahin örneklerinin kayma gerilimine ( $\tau$ ) karşı kayma hızı ( $\gamma$ ) grafikleri ve akış grafikleri.....	75
Şekil 4.14. Depolama ( $G'$ ) ve kayıp ( $G''$ ) modüllerinin frekansa bağlı grafikleri.....	78
Şekil 4.15. Zaman x muamele interaksiyonunun tahin örneklerinin pH değeri üzerine etkisi.....	82

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1. Susam tohumu kimyasal kompozisyonu.....	7
Tablo 2.2. Susam tohumlarının amino asit kompozisyonu.....	7
Tablo 2.3. Tahinin ortalama bileşim değerleri.....	10
Tablo 3.1. Katkı ilavesinden sonraki deneme planı.....	36
Tablo 4.1. Susam, yağsız susam, susam protein izolatı ve tahinin pH ile bileşim analizleri, zeta potansiyeli ve hidrodinamik çap değerleri ile protein ekstraksiyon verimi.....	46
Tablo 4.2. Susam protein izolatlarının amino asit bileşimi.....	49
Tablo 4.3. Susam protein izolatlarının su ve yağ tutma kapasitesi, köpürme, emülsifiye edici özellikleri.....	53
Tablo 4.4. Örneklerin DSC analizi sonuçları.....	64
Tablo 4.5. Örneklerin TGA analiz sonuçları.....	65
Tablo 4.6. Tahin örneklerinin farklı zamanlardaki ayrılan yağ miktarları.....	68
Tablo 4.7. Kontrol grubu tahin örneklerine kıyasla farklı zamanlarda muamelelerin ayrılan yağ miktarı değişimine etkileri.....	68
Tablo 4.8. Farklı zaman ve muamele uygulanan tahin örneklerinin ayrılan yağ miktarlarına ve ayrılan yağ miktarı değişimindeki etkilere ait varyans analizi sonuçları.....	70
Tablo 4.9. Tahin örneklerinin steady shear akış davranış özelliklerine ait reolojik sonuçlar.....	73
Tablo 4.10. Tahin örneklerinin farklı zamanlarda ortalama pH değerleri.....	81
Tablo 4.11. Farklı zaman ve muamele uygulanan tahin örneklerinin pH değerlerine ait varyans analiz sonuçları.....	81
Tablo 4.12. Tahin örneklerinin farklı zamanlarda zeta potansiyeli değerleri.....	83
Tablo 4.13. Farklı zaman ve muamele uygulanan tahin örneklerinin zeta potansiyeli değerlerine ait varyans analiz sonuçları.....	84
Tablo 4.14. Tahin örneklerinin farklı zamanlarda ortalama hidrodinamik çap değerleri.....	84
Tablo 4.15. Farklı zaman ve muamele uygulanan tahin örneklerinin hidrodinamik çap değerlerine ait varyans analiz sonuçları.....	85
Tablo 4.16. Tahin örneklerinde incelenen parametreler arasındaki ilişkilere ait Pearson korelasyon katsayıları.....	86

# 1. GİRİŞ

Tahin esas olarak susam yağı içerisinde dağılmış olarak bulunan, protein içeren hidrofilik partiküllerin oluşturduğu konsantre bir kolloidal süspansiyondur. Tahinin içeriğindeki %50-%60 oranındaki yağ fazı depolama esnasında diğer bileşenlerden ayrılmaktadır. Bu durum doğal bir olaydır ama buna rağmen tüketiciler tarafından arzu edilmemekte, ürünün kalitesiz veya bozuk olabileceği algılanmaktadır. Depolama süresi boyunca yağın büyük bir kısmı ayrılmakta ve altta kalan kısım katılaşarak tüketimi zor olmaktadır. Partikül sedimantasyonu ve yoğunluk farkı nedeniyle gerçekleşen yağ fazı ayrılması uzun süreli depolama sonucunda fiziki olarak tahinin en belirgin karakteristik özelliğidir (Al-Manasneh, vd., 2017; Evlogimenou, vd., 2017). Tahin, raf ömrü açısından kimyasal bozulma reaksiyonlarına dayanıklı olmasına rağmen tahinin depolanması sırasında kolloidal kararsızlık ana problemidir (Çiftçi, vd., 2008).

Kolloidal dispersiyonlarda bulunan parçacıklar arasında etkili olan başlıca etkileşimler Van der Waals, tükenme, hidrofobik çekim ve köprüleme etkileridir. Başlıca itici güçler ise elektrostatik ve sterik itişidir. Parçacık topaklaşmasını engellemek için parçacıklar arasında yeterince güçlü bir itici kuvvet olacak şekilde taşıyıcı sistemlerin dizayn edilmesi gereklidir. Bu da genellikle parçacıklar arasındaki elektrostatik ve sterik itici kuvvetlerin güçlendirilmesi ve köprüleme ile tükenme etkilerinin engellenmesiyle gerçekleştirilebilir.

Sürekli fazdaki sıvının artan viskozitesi de dispers faz damlacıklarının birleşmesini engellenmektedir. Stabil süspansiyonlarda karışımın homojen olmasını dağılan damlacıklar sürekli süspansiyon halinde kalarak sağlamaktadır. Sürekli faz içerisindeki damlacıkların birleşerek kaynaşma (koalesans, flokülasyon) eğiliminde olmaları ise süspansiyonun stabil olmamasına katkıda bulunmaktadır. Kıvam artırıcılar ve stabilizatörler ise sürekli fazın viskozitesini artırmak suretiyle dağılan fazın stabil kalmasını sağlayan maddelerdir. Süspansiyon ajanları çökmeyi yavaşlatmak ve viskoziteyi artırmak amacıyla kullanılırlar. Süspansiyon ajanının kullanım miktarları çeşidine bağlı olarak %0.1-10 arasında değişmektedir (Acartürk, 2009).

Susam tohumları içerdiği yüksek yağ ve protein miktarları ile çok eskiden beri insanlar tarafından bilinen bir gıda olarak beslenmede ve sanayide çok yaygın

kullanım alanlarına sahiptir (Karakoç, 2021). Susam ekstraktının, fonksiyonel gıda kalitesini artırmak ve ürünün raf ömrünü uzatmak amacıyla enkapsülasyon işleminde kullanılabileceği de bilinmektedir (Rusmarilin, vd., 2019; Karakoç, 2021). Susam tohumları, protein (%20-26), yağ (%45-59) ve karbonhidratça (%7-19) zengin (Achouri, vd., 2012; Elleuch, vd., 2007; Fasuan, vd., 2018a; Hassan, 2012) ve lignan kaynağı bir gıdadır (Das ve Bhattacharjee, 2015; Sarkis, vd., 2015). Susam proteinleri, birçok gıda ürünüde kullanılan köpüklere, emülsiyonlara ve jellere lezzet katabilir (Onsaard, 2012).

Maddelerin nano düzeyde, nano olmadıkları boyutlarda (makro veya yığın halleri) gösterdikleri özellikleri daha etkili ve daha az madde miktarı ile gerçekleştirebilecekleri bilinmektedir. Polisakkarit ve proteinlerin kıvam verici, stabilize edici, sineresisi ve yağ ayrışmasını önleyici etkilerinin, nano düzeyde daha düşük konsantrasyonlarla daha hızlı, daha hassas ve daha uzun süre olacağı hipotezinden hareketle susam tohumu proteinleri içeren nanoliflerin tahinde yağ ayrışmasını önleyici potansiyeli olduğu söylenebilir. Çünkü nanoteknolojinin genel olarak özellikle tercih edilmesinin nedeni daha az madde ile daha hassas sonuçların elde edilebilir olmasıdır. Susam tohumundan elde edilecek olan protein izolatları ve bunlardan üretilen nanoliflerin, tahine dahil edildiğinde, parçacık sedimantasyonu ve yağ ayrılması olayını önleyebileceği beklenmektedir. Fiziksel stabilitedeki bu gelişme, katkıları tarafından tahin viskozitesinde beklenen artışın olması ve dolayısı ile yağ ayrışmasının azalmasının bir sonucu olabileceği düşünülmektedir.

Elektrospinning pek çok farklı hem doğal hem de sentetik polimerleri nanoliflere döndürmek için kullanılan bir araç olarak tanımlanabilir. Detaylandırmak gerekirse; değişken gözenek boyutlarına, yüksek oksijen geçirgenliğe ve geniş yüzey alanı etkinliğine sahip mikro boyuttan nanoboyuta kadar değişebilen çaplarda liflerden oluşan ultra ince elyaf üretimini gerçekleştirebilen bir yöntem olarak tanımlanmaktadır (Mendes, vd., 2017; Leidy, vd., 2019; Subbiah, vd., 2005; Xue, vd., 2017; Wen, vd., 2017a, 2017b).

Tahinlerin depolama stabilitesi, üreticiler ve tüketiciler için ana endişe kaynağıdır. Birincisi, depolama sırasında, tahindeki partiküller çökelmeye meyilli olup, yağ ayrışmasına ve tortu kekine neden olmakta, bu nedenle tüketicilerin kabul edilebilirliğini olumsuz etkilemektedir. İkincisi, lipit oksidasyonu da acılaşmayı geliştiren en yaygın sorunlardan biridir ve kötü tada yol açar (Hou, vd., 2020).

Yağ ayrışmasını önlemek ve parçacık topaklaşmasını engellemek için parçacıklar arasında yeterince güçlü bir itici kuvvet olması gerektiği, süspansiyon ajanı olarak susam proteinlerinin ve nanoliflerinin elektriksel yüklerinin etkisi ile sağlanacağı düşünülmektedir. Ayrıca susam protein izolatlarının yağlar ile oluşturacakları emülsiyon etkisi ile yağların birleşerek (koelesans ve kremalaşma) yapıdan ayrılmasını engelleyici etkiyi sağlaması beklenmektedir. İlave olarak nano liflerin bariyer olarak görev görmesi sonucu da partiküllerin çökmesinin engellenmesinde işlev görecekları beklenmektedir.

Susam proteinlerinden elde edilen nanoliflerin üretimine yönelik herhangi bir çalışmaya literatürde rastlanılmamıştır. Aynı şekilde, susam proteinlerinin değerlendirilerek nanolif üretimine yönelik ilk çalışma olma niteliğindedir. Bu tezde susamdan protein izolatlarının elde edilmesi ve elektrospinning yöntemiyle elde edilen susam proteinleri içeren nanoliflerin üretilmesi ve tahinde yağ ayrışmasını engellemek için kullanılacak olması çalışmanın özgünlüğünü ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada, oda sıcaklığında depolanması esnasında tahinde meydana gelen yağ fazı ayrılmasını önleyebilmek veya en aza indirebilmek amacıyla, elektrospinning yöntemiyle üretilen susam proteinleri içeren nanoliflerin ve susam protein izolatlarının tahin içerisine ilave edilmesiyle, yağ fazının yapıdan ayrılmasına engel oluşturmak suretiyle etki etmesi ve depolama süresince üründe meydana gelen bazı değişimlerin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçlar dışında;

- Hammaddelerin fizikokimyasal özellikleri belirlenmiştir.
- Susam tohumundan protein ekstrakte etmek için en uygun şartlar araştırılmıştır.
- Susam tohumundan elde edilen protein izolatı ile nanolif üretimi gerçekleştirilmiştir.
- Elde edilen protein izolatlarının ve bundan üretilen nanoliflerin karakterizasyon özellikleri incelenmiş ve karşılaştırmaları yapılmıştır.
- Susam protein izolatlarının ve nanoliflerinin, tahinde yağ ayrışmasını önleyici etkileri ayrı ayrı incelenmiştir.
- Susam protein izolatlarının ve nanoliflerinin, tahinin reolojik özellikleri üzerine etkileri ayrı ayrı incelenmiştir.

Ayrıca, tahinde susam ve susamdan gelebilecek maddeler (nişasta) haricinde yabancı madde bulunamayacağı ve sonradan katılamayacağı Türk Gıda Kodeksi Tahin Tebliği'nde belirtilmektedir (Anonim, 2015). Bu şekilde tahine yağ ayrışmasını önlemek için ilave edilecek “katkı”nın aslında tahinin ana maddesi susam olmasının sağlanabileceği gösterilmiştir.

## 2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ

### 2.1. Susam

Susam (*Sesamum indicum* L.) özellikle Afrika ve Asya'da yüzyıllardır tarımı yapılan en eski yağlı tohum bitkilerinden biri olarak kabul edilen gözyaşı damlası şeklinde, küçük ve yassı tohumlar üreten, dik, otsu ve yıllık bir bitkidir (Hegde, 2012). Özellikle de tohumu geleneksel olarak mutfaklarda, Asya ülkelerinde binlerce yıl boyunca çeşitli hastalıkların önlenmesinde ve dünyanın farklı bölgelerinde beslenme durumunu iyileştirmek için kullanılan bir gıda takviyesidir (Das ve Bhattacharjee, 2015). Tohumlar ekmeklerin ve kurabiyelerin dekorasyonunda ve tatlıların yapımında kullanılırken, bazı yemeklere susamdan yapılan macun da eklenir. Susam tohumundan elde edilen yağ, susam ürünleri içerisinde en yaygın kullanım alanı bulan üründür. Susam tohumları genel olarak hiçbir işlem görmeden de kullanılırken Doğu Asya ülkelerinde susam tohumları kavruarak bisküvi, ekmek gibi ürünlerde; ülkemizde ise yaygın olarak poğaçaya ve simit gibi fırıncılık ürünlerinde kullanılmaktadır. Endüstriyel üretim olarak ise susam yağı haricinde susamdan en yaygın olarak üretilen ürünler tahin ve tahin helvasıdır (Amoo, vd., 2017; Görgüç ve Yılmaz, 2019).

Kültürü yapılan susam türü sadece *Sesamum indicum* L. türüdür. Bu tür Pedaliaceae (susamgiller) familyası içerisinde 16 cins ve 60 tür arasında yer alan *Sesamum* cinsine ait yaklaşık 37 türden biridir. Günümüzde kültür susamının dünyada daha çok sıcak ve tropikal kuşağa yayılmış yaklaşık 3000 ekotipi ve varyetesi mevcuttur (Baydar ve Turgut, 2000). Susam sıcaklığı seven bir bitki olup çimlenme sırasında yağışlardan ve rüzgarlardan etkilenip zarar görmektedir. Ayrıca gün içerisindeki ısı farkından olumsuz etkilenebilir ve gelişmesi uzamaktadır (Karakoç, 2021). Susam tohumları yaklaşık 5 ayın sonunda olgunlaşır. Hasat esnasında ise bütün bitkiler önce kesilir ve daha sonra kuruması için stok haline getirilir ve tohumlar kapsüllerden elle veya makineler yardımıyla silkelenir böylece tohumların kapsülünden ayrılması sağlanır ve depolanır. Böylelikle tohumlar sap ve saman gibi unsurlardan ayrıştırılmış ve susam bitkisinden ham susam taneleri elde edilmiş olur. Tohumlar kahverengi, sarımsı beyaz veya gri-siyah renkte, kabukları soyulmuş olanlar ise krem veya inci beyazı renktedir (Şahin, 2014; Wilson, 2016).

Dünyada susam üretimi, 1997 yılında yaklaşık 2.5 milyon ton iken 2019 yılında 6.5 milyon tonu bulmuştur. Ekim alanı olarak ise dünyada toplam susam ekilen alan

2019 yılı itibarı ile 12 milyon hektarı geçmiştir (FAOSTAT, 2021). Türkiye, yıllık ortalama 20.000 ton gibi düşük miktarda susam üretimi gerçekleştirmekte olduğundan susam ithalatını en fazla yapan ülkeler içerisinde yer almaktadır. Tahin ve tahin helvası üretiminin hammaddesi olan susamın; Hindistan, Etiyopya, Sudan, Nijerya, Burkino Faso, Çin ve Pakistan gibi ülkelerden yüksek miktarlarda ithalatı yapılmaktadır (Görgüç ve Yılmaz, 2019). Ülkemizde 2010-2019 yılları arasında yıllık ithal edilen susam miktarı ortalama 130.000 ton ve maliyeti 200 milyon dolar civarında olmakla beraber gün geçtikçe bu miktarlar artmaktadır. Sadece 2019 yılı içerisinde 185.000 ton susam ithal edilmiş olup maliyeti ise 288 milyon dolardır (FAOSTAT, 2021).

Dünyada bitkisel yağ üretimi için önemli bir yer tutan susam, üretimin yoğun olarak yapıldığı Asya ülkelerinde büyük oranda bitkisel yağ (%77.6) üretiminde değerlendirilmekte, kalan kısmı ise pastacılıkta (%20.1) ve tohumluk olarak (%2.3) kullanılmaktadır. Susam, ülkemizde de önemli bir yağ bitkisidir. Susam yemeklik bir yağ olmasına rağmen kullanımı ekonomik olmadığı için, ülkemizde bitkisel yağ olarak tüketimi sınırlı kalmıştır. Fakat üretilen susam genel olarak helvacılıkta, pastacılıkta ve yağ olarak kullanılmaktadır (Tan ve Kaya, 2000).

Susam tohumu, yağ ve protein açısından zenginliğiyle ön plana çıkmaktadır. Tohumlar %45.46-59.28 yağ, %21.43-25.77 protein, %2.70-5.10 nem, %2.89-5.44 kül, %3.20-7.31 lif ve %4.33-19.33 karbonhidrat içerir (Achouri, vd., 2012; Borchani, vd., 2010; Elleuch, vd., 2007; Fasuan, vd., 2018a; Hassan, 2012). Susam tohumunun bileşimi, genetik, çevresel faktörler, iklim, yetiştirme, olgunlaşma aşamasına, tohumların hasat zamanına ve kullanılan analitik yöntemle bağlıdır (Onsaard, 2012). Susam tohumları, lignan (%1.5'e kadar sesamin ve sesamolin gibi) kaynağı bir gıdadır (Das ve Bhattacharjee, 2015; Sarkis, vd., 2015). Ayrıca, içerdiği antioksidan ve doymamış yağ asitleri gibi fonksiyonel bileşiklerden dolayı önemli bir yere sahiptir. Sesamolin ve sesamin bitkilerde bulunan lignan grubu bileşiklerdir ve polifenolik yapıda güçlü antioksidanlardır. Susamda yer alan lignanların obeziteyi ve hiperglisemi önleme, kolesterol düzeyini düşürme gibi sağlık üzerine olumlu etkileri de belirlenmiştir (Sarkis, vd., 2015). Ulusal Gıda Kompozisyon Veri Tabanı (Anonim, 2021) verilerine göre Tablo 2.1.'de susam tohumunun ortalama bileşim değerleri ve Tablo 2.2.'de susam tohumlarının aminoasit kompozisyonu verilmiştir.

Tablo 2.1. Susam tohumu kimyasal kompozisyonu (Anonim, 2021)

Bileşen	Ortalama Miktar	Bileşen	Ortalama Miktar
Enerji (kcal)	576	Demir (mg)	44.70
Su (g)	4.41	Fosfor (mg)	574
Kül (g)	5.68	Kalsiyum (mg)	693
Protein* (g)	19.82	Magnezyum (mg)	290
Yağ, toplam (g)	51.20	Potasyum (mg)	500
Azot (g)	3.17	Sodyum (mg)	106
Karbonhidrat (g)	2.01	Çinko (mg)	5.13
Lif, toplam diyet (g)	19.88	Selenyum (µg)	40.8
Lif, suda çözünür (g)	2.75	Tiamin (mg)	0.597
Lif, suda çözünmeyen (g)	17.13	Riboflavin (mg)	0.253
Tuz (mg)	266	Niasin (mg)	6.793
Yağ asitleri, toplam doymuş (g)	6.02	B6 vitamini (mg)	0.836
Yağ asitleri, toplam tekli doymamış (g)	17.79	Folat (µg)	64
Yağ asitleri, toplam çoklu doymamış (g)	16.66	E vitamini (IU)	2.14

\*N=6.25, Bileşen değerleri gıdanın yenilebilir 100 g'ı içindir.

Tablo 2.2. Susam tohumlarının amino asit kompozisyonu (mg/100g) (Anonim, 2021)

Amino asit	Miktar	Amino asit	Miktar
Triptofan	353	Valin	853
Treonin	448	Arjinin	878
Izolosin	682	Histidin	422
Lösin	1266	Alanin	791
Lizin	960	Aspartik asit	1028
Metiyonin	353	Glutamik asit	3218
Sistin	137	Glisin	860
Fenilalanin	910	Prolin	905
Tirozin	626	Serin	673

Susam proteinleri, gıdaların besin değerine katkıda bulunurken, gıda endüstrisinde bir bileşen olarak kullanılması yüksek potansiyele sahiptir. Susam proteinlerinin temel özelliklerinden biri, esansiyel amino asitlerden olan metiyonin ve triptofan içeriğidir. Susam unu ve izole edilmiş protein, metiyonin (%2.5-4.0) ve kükürt içeren amino asitler (%3.8-5.5) bakımından yüksektir (Cano-Medina, vd., 2011; Saini, vd., 2018; Sharma, vd., 2016). Soya proteini, buğday unu, arpa tanesi, öğütülmüş pirinç ve mısır unu gibi çoğu bitki proteini toplam kükürt içerikli amino asit bakımından düşüktür, bu nedenle susam, yüksek toplam kükürt içerikli amino asit içeriğine sahip olması bakımından benzersizdir (Onsaard, 2012). Bu nedenle, susam proteininin amino asit bileşimi, tahıl ve baklagiller üzerinde tamamlayıcı bir gıda olarak kullanılabilir. Ayrıca susam proteinlerinin polimerik yapısı, eklendiği gıdanın reolojik ve tekstürel özelliklerini geliştirerek ürünü tüketiciye daha kabul edilebilir kılmaktadır (Gómez-Arellano, vd., 2017).

Susam proteinleri, ardışık ekstraksiyon ve farklı çözünürlüklere dayanan dört

protein sınıfında sınıflandırılmıştır; suda çözünür albüminler, tuzda çözünür globülinler, alkol/su karışımlarında çözünür olan prolaminler ve seyreltik asit veya alkalilerde çözünen glutelinler. Alkali protein izolatı (pH 10'da su ile ekstrakte edilen ve pH 4.0'da çökeltilen) %41.3 albümin, %14.8 globulin, %0.8 prolamin ve %41.0 glutelin içerir (Onsaard, 2012).

## 2.2. Tahin

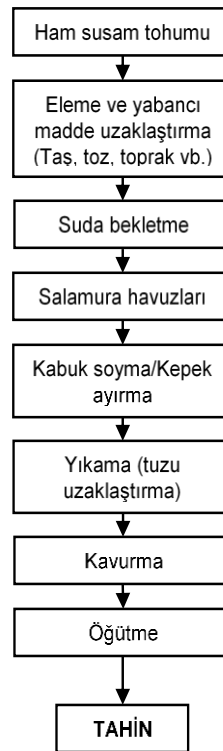
Türk Gıda Kodeksi Tahin Tebliği'ne göre "Tahin; tahin üretimine uygun susam (*Sesamum indicum* L.) tohumlarının tekniğine uygun olarak kabukları ayrıldıktan ve fırında kurutulup kavrulduktan sonra değirmende ezilmesi ile elde edilen ürünü" ifade eder (Anonim, 2015).

Türkiye'de "Tahin" veya "Tahineh", İran'da "Ardeh" olarak bilinen susam ezmesi, kabuğu soyulmuş, kavrulmuş ve öğütülmüş susam tohumlarından üretilir. Orta Doğu'da nohut (humus tehineh) ve halaweh (helva) gibi bazı yerel yiyeceklerin hazırlanmasında ve bal, pekmez gibi doğal tatlandırıcılar içeren karışımlarda da kullanılır (Abu-Jdayil, vd., 2002; Tounsi, vd., 2019). Tahin/pekmez karışımı, yüksek besin değeri nedeniyle Türkiye (tahin/pekmez karışımı olarak bilinir) ve İran'da (Helwa-Ardeh olarak bilinir) özellikle kış aylarında yaygın olarak tüketilmektedir. Türkiye gıda pazarında tahin ve pekmez ayrı satılır ve karışım ev yapımı olup, tahin/pekmez oranı tüketiciler tarafından belirlenir (Arslan, vd., 2005; Razavi, vd., 2007). Tahin helvası, geleneksel Türk şekerleme gıdalarından biridir ve Türkiye'de endüstriyel ölçekte üretilmektedir. Tahin helvasının tarihi tam olarak bilinmemekle birlikte bu ürünün M.Ö. 3000'den beri üretildiği söylenmektedir. Tahin helvası, Yunanistan, İran, Irak, Ürdün, Suudi Arabistan gibi Akdeniz ve Ortadoğu ülkelerinde de en popüler gıdalardan biridir (Guneser ve Zorba, 2014).

Susamdan tahin eldesi genel olarak kabuk ayırma, kurutma, kavurma ve öğütme aşamalarını içermektedir (Şekil 2.1.). Geleneksel olarak susam içini ortaya çıkarmak amacıyla tuzlu su ile yoğunluk farkından yararlanılarak susamın kabukları ayrılmaktadır. Daha sonra tuzundan arındırılması için susam içi yıkanır, nemini azaltmak için de kavrulur ve elendikten sonra öğütülür. Kavrulmuş susam içleri öğütülme sonucu son ürün olan tahini oluşturmaktadır (Özcan, 1993). Tahinin, doğrudan doğruya kabuksuz susam tohumlarının öğütülmesi ile elde edilen bir ürün olduğu (Özcan ve Akgül, 1994), bundan dolayı besin değerinin susam tohumlarından

daha fazla olduğu ve bileşiminde yüksek oranda yağ içermesi nedeniyle kıvamlı bir sıvı olduğu bilinmektedir.

Tahin, antioksidan, yüksek besin değeri, bağışıklık düzenleyici ve kanser önleyici özellikleri nedeniyle besleyici ve sağlıklı bir gıda olarak Asya ve özellikle Orta Doğu mutfaklarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek değeri susam yağına ek olarak iyi miktarda kalsiyum, demir, potasyum ve fosfor mineralleri, antioksidanlar ve vitaminler (B, C ve E) içerir (Al-Mahasneh, vd., 2017).



Şekil 2.1. Tahin üretim prosesi

Tahin Tebliği'ne göre, tahinde külün en çok %3.2, susam yağının kütlece en az %50, proteinin en az %20, rutubetin en çok %1.5, asitliğin (oleik asit cinsinden) en çok %2.4, acılığın (Kreis) negatif çıkması gerekir ve nişasta hariç yabancı madde bulunmamalıdır (Anonim, 2015). Yapılan birçok çalışmada tahinde ortalama %50-60 yağ, %16-28 yüksek değeri protein ve B vitaminleri bulunduğu tespit edilmiştir (Akbulut ve Çoklar, 2008; Çiftçi, vd., 2008; Hou, 2017; Hou, vd., 2018; Lokumcu Altay ve Ak, 2005; Tounsi, vd., 2019). Ulusal Gıda Kompozisyon Veri Tabanı verilerine göre Tablo 2.3.'de tahinin ortalama bileşim değeri verilmiştir (Anonim, 2021).

Tablo 2.3. Tahinin ortalama bileşim değerleri (Anonim, 2021)

Bileşen	Ortalama Miktar	Bileşen	Ortalama Miktar
Enerji (kcal)	663	Demir (mg)	6.01
Su (g)	0.29	Fosfor (mg)	869
Kül (g)	2.95	Kalsiyum (mg)	126
Protein* (g)	24.31	Magnezyum (mg)	318
Yağ, toplam (g)	60.40	Potasyum (mg)	313
Azot (g)	3.89	Sodyum (mg)	238
Karbonhidrat (g)	2.96	Çinko (mg)	9.08
Lif, toplam diyet (g)	12.78	Selenyum (µg)	18.8
Tuz (mg)	595	Tiamin (mg)	0.320
Yağ asitleri, toplam doymuş (g)	12.82	Riboflavin (mg)	0.132
Yağ asitleri, toplam tekli doymamış (g)	21.91	E vitamini (IU)	0.57
Yağ asitleri, toplam çoklu doymamış (g)	22.87		

\*N=6.25, Bileşen değerleri gıdanın yenilebilir 100 g'ı içindir.

Tahin esas olarak susam yağı içerisinde dağılmış olarak bulunan, protein içeren hidrofilik partiküllerin oluşturduğu, Newtonyan olmayan sahte plastik gıda maddesi gibi davranan konsantre karmaşık kolloidal bir dispersiyondur. Süspansiyon, bir akış alanında rastgele dağılmış partiküllerden oluşmaktadır (Lindner ve Kinsella, 1991; Lokumcu Altay ve Ak, 2005). İki fazlı heterojen sistemler olarak bilinen süspansiyonlarda, sürekli faz (devamlı faz, dış faz) sıvı ya da bir yarı-katı, dağılan faz (iç faz) ise sürekli fazda çözünmeyen katı partiküllerden oluşmaktadır. Bu iki maddeden biri diğerinin içinde dağılmış durumdadır. Bu dağılan kısma dispers faz, içinde dağıldığı ortama dispersiyon ortamı adı verilir. Stabil bir süspansiyon formülasyonunun oluşturulmasında en önemli faktörler partikül büyüklük dağılımı ve ortalama partikül büyüklüğüdür. Ayrıca, dispers fazdaki damlacıkların büyüklükleri (genellikle 1-10 mikron çapındadır) önemlidir (Yetkin, 2019).

Susam ezmesi, yağ ortamında kolloidal bir dispersiyon olarak karakterize edilir. Yağ, serbest, emülsifiye edilmemiş bir sıvı olarak bulunur. Susam hamurunun, sabit kesme hızında kesme süresi ile viskozitenin azaldığı bir tiksotropik kesme incelmeleri sergilediği gösterilmiştir. Susam ezmesi, sistemde bulunan protein tarafından stabilize edilmiş, konsantre bir yağda su emülsiyonu olarak düşünülebilir. Görünüşe göre emülsiyon damlacıkları, zayıf bağlı kümeler ve hatta zayıf bir emülsiyon jeli oluşturmak üzere toplanır. Uygulanan kesme alanı, kümeleri yavaş yavaş parçalar ve artan kesme hızı ve artan kesme süresi ile daha küçük bir ortalama küme boyutuyla sonuçlanır (Al-Mahasneh, vd., 2017). Tane boyutunun küçültülmesi, elastikten viskoz özelliğe eğilimi artırır ve tiksotropik alanın büyüklüğünü azaltır (Hou, vd., 2018).

### 2.3. Nanoteknoloji ve Elektrospinning

“Nano” kelimesi herhangi bir ölçü biriminin milyarda biridir ( $10^{-9}$ ) ve nanoteknoloji nanometre ölçeğindeki özelliklerde boyutları 0.1 ile 100 nm arasında değişen oldukça küçük boyutlardaki malzemelerin, aygıtların ve sistemlerin tasarımını, üretimini, karakterizasyonunu ve kullanımını içerir (Kumru, 2013; Ramsden, 2018). Bir nano-nesne, boyutu 100 nm den az olan, en az bir boyutlu bir malzemedir. Bu tanıma göre; nanopartiküller (100 nm'den küçük tüm üç boyutlular), nanolifler (100 nm'den küçük iki boyutlu) ve nanoplakalar (100 nm'den küçük bir boyutlu) tanımlanabilir (Ramsden, 2018).

Nanomateriyaller nano ölçekli boyutlarından dolayı kütle birimi başına daha büyük yüzey alanı nedeniyle çok geniş bir yüzey etkinliği ile yüzey-hacim oranına sahiptir ve böylece yer aldıkları cisimlere önemli özellikler katabilirler (Sozer ve Kokini, 2009). Bulunduğu nano boyutlardan dolayı malzemeye önemli özellikler katabilen nanopartikül içeren malzemelerin gelişimi; tekstil, çevre, enerji, elektronik, bilgisayar araç gereçleri, ilaç, kozmetik, biyoteknoloji, tarım, yemek pişirme aletleri, gıda ve içecek gibi çoğu endüstriye büyük avantaj sağlamaktadır (He, vd., 2019; Rashidi ve Khosravi-Darani, 2011; Sanguansri ve Augustin, 2006; Tarhan, vd., 2010; Weiss, vd., 2006). Nano ölçekte yapısal özelliklere sahip sistemlerin makroskopik emsallerinden büyük ölçüde farklı fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklere sahip olması, gıda sistemlerindeki biyolojik ve fiziksel olayların anlayışını değiştirmektedir (Weiss, vd., 2006).

Nanoteknolojinin gıda endüstrisindeki uygulamaları genel olarak aşağıdaki başlıklarda verilen örneklerle sıralanabilir:

- Gıdaların işlenmesi ve yeni fonksiyonel gıda ürünlerinin geliştirilmesi (değişik aroma, renk ve biyoaktif maddelerin gıdalara katılması),
- Biyoaktif maddelerin taşınımı ve kontrollü salınımı (çeşitli esansiyel yağlar, proteinler, antioksidan gibi yapıların nanokapsül uygulamalarına tabi tutulması böylece bu bileşenlerin taşınması ve vücutta istenilen bölgede kontrollü salınımını, biyoaktif maddelerin raf ömrü süresince zararlı bileşiklere dönüşmesinin sınırlandırılması),
- Gıdanın raf ömrünü geliştirecek paketleme uygulamaları (ambalaj materyaline eklenen nano yapılar sayesinde antimikrobiyal ve antifungal

iç yüzeyler oluşturularak ürünün stabilitesinin artırılması),

- Hidrofilik materyallerin yağda ve lipofilik maddelerin suda çözünmelerini sağlayan nanoemülsiyonların oluşturulması,

nanoteknolojinin gıda alanındaki uygulamalarına örnek gösterilebilir (Ceylan, 2017; Chau, vd., 2007; Chen, vd., 2006; He, vd., 2019; Neethirajan ve Jayas, 2011; Sanguansri ve Augustin, 2006; Sozer ve Kokini, 2009; Tarhan vd., 2010; Weiss, vd., 2006).

Bir maddenin (aktif madde) başka bir madde (duvar/zar malzemesi) içinde hapsedildiği işlem “enkapsülasyon” olarak tanımlanabilir. Böylece birkaç milimetreden birkaç nanometre aralığında çapa sahip partiküller üretilebilir (Dordevic, vd., 2014; Nedovic, vd., 2011). Kapsüllenmiş madde dolgu, çekirdek, iç veya aktif faz olarak adlandırılırken; kapsülleyen madde genellikle, kabuk, kaplama, zar, taşıyıcı materyal, kapsül, matriks veya dış faz olarak adlandırılmaktadır. Genellikle, enkapsülasyon biyoaktif maddelerin fiziksel bir bariyer ile tamamıyla kaplandığı, sarıldığı ve korunduğu bir teknoloji anlamına gelmektedir (Nedovic, vd., 2011).

İşleme sırasında ve son üründe gelişmiş stabilite sağlamak enkapsülasyonun en önemli işlevlerinden birisidir. Ayrıca biyoaktif bileşiklerin stabilitesini korumayı ve gıda matrisi ile istenmeyen etkileşimleri önlemeyi amaçlar (Nedovic, vd., 2011). Gıda alanındaki enkapsülasyonun temel amacı, hassas gıda bileşenlerini işlem sırasında nemden, oksidasyondan, sıcaktan veya aşırı koşullardan korumak veya organoleptik kalite ve işlevsellik için tüketici taleplerini karşılamaktır. Ayrıca, optimize edilmiş kapsül tasarımı, işleme veya depolama sırasında kontrollü aktif bileşik salınımı sağlayabilir (Fernandez, vd., 2009). Enkapsülasyon işlemi sadece biyoaktif bileşenleri korumakla kalmaz, aynı zamanda istenmeyen tat ve koku bileşenlerini de kamufle edebilir. Yağ, vitamin, mineral, aroma maddesi, enzim gibi pek çok gıda bileşeni, enkapsülasyon işlemi ile daha fonksiyonel hale getirilebilir (Çiçek, 2016). Nanoenkapsülasyon terimi; kaplamalar, filmler ya da sadece mikro dispersiyon ile nanoboyutta enkapsülasyon işlemini kapsar. Başlıca fayda, nanoboyutun sağladığı homojenliktir ve böylece malzemede daha iyi bir enkapsülasyon etkinliğinin yanında daha iyi kimyasal ve fiziksel özellikler elde edilir (Yılmaz, 2015).

Enkapsülasyon işlemi farklı yöntemlerle yapılabilmektedir. Bunlar püskürterek kurutma (spray-drying), püskürterek soğutma ve dondurma, ekstrüzyonla kaplama,

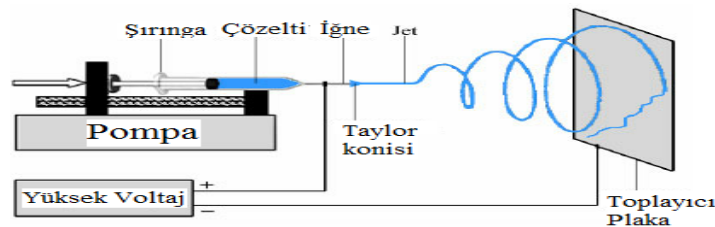
koazervasyon (faz ayırma yöntemi), süper kritik akışkan tekniği, akışkan yatak kaplama, nano-çöktürme, emülsifikasyon, lipozom ile kaplama ve elektrodöndürme (elektrospinning) yöntemleridir (Dordevic, vd., 2014; Gibbs, vd., 1999; Wen, vd., 2017a). Son zamanlarda, bu yöntemler arasında elektrospinning farmasötikler dahil olmak üzere biyolojik olarak aktif bileşiklerin kapsüllemesi için uygun bir yol olarak önerilmektedir. Yüksek yüzey/hacim oranına ve poroziteye sahip lifler üretmek için basit, kolay ve çok yönlü bir yöntemdir. Geleneksel kapsülleme tekniklerine kıyasla, elektrospinning işleminin en önemli avantajı, yapıyı korumak ve depolama işlemi sırasında biyoaktif maddelerin yüksek kapsülleme etkinliğini elde etmek için önemli olan ısının olmamasıdır (Wen, vd., 2017a; 2017b).

Çapları 1 mikrondan az genellikle 50-300 nanometre (nm) olan ve gözle direkt olarak görülemeyen sentetik ya da doğal polimerlerden üretilen nanolifler ise çiftbileşenli nanolif üretimi, eriyikten (meltblown) nanolif üretimi, fibrilasyon yöntemiyle nanolif üretimi ve elektrospinning ile nanolif üretim teknikleriyle üretilmektedir (Ceylan, 2017). Biyoaktif bileşiklerin liflere kapsüllemesi, genellikle biyoaktif bileşiklerin polimer çözeltisi ile karıştırılması ve ardından elektrospinning ile elde edilir. Kapsülleme matrislerine gelince, gıda sınıfı polimerler (proteinler ve polisakaritler) toksik olmayan, biyolojik olarak uyumlu, biyolojik olarak parçalanabilir ve sürdürülebilir oldukları için önemli bir ilgi görmüştür (Wen vd., 2017a).

Elektrospinning (elektrodöndürme) yöntemiyle nanolif üretimi: Elektrospinning yöntemi, biyopolimerler, polimerler ve kompozitler gibi çok çeşitli materyallerden ultra ince lifler oluşturmak için kullanılan sıvı polimerlerin topraklanmış bir yüzey üzerinde sürekli lif formunda toplanması esasına dayanır (Subbiah, vd., 2005; Xue, vd., 2017). Elektrospinning, mikron altı veya nano ölçekli lifler üretmek için etkili, hızlı, kurulum maliyeti uygun, nispi kullanım kolaylığı olan, kolay ve düşük maliyetli üretim sağlayabilen, çeşitli polimerlerden nanolif eldesine uygun, ürünlerin duyuşal özelliklerini etkilemeden gıda sistemlerine girmelerine izin veren bir yaklaşımdır. Elektrospinning işlemi sırasında ısının olmaması, özellikle hassas bileşikler için kilit öneme sahiptir (Zamani, vd., 2013; Xue, vd., 2017; Wen, vd., 2017a, 2017b). Elektrospinning'in önemli avantajlarından biri de hidrofobik veya hidrofilik bileşiklerin ve proteinler gibi biyomakromoleküllerin elektrospun liflerine doğrudan kapsüllemesi için fırsat sağlamasıdır (Wen, vd., 2017b).

Elektrospinning işlemi, uygun bir çözücü ile hazırlanan polimer çözeltisi, bu çözelti ile temas halinde bulunan elektrot sayesinde elektrik yüklü jetler üretmek için yüksek gerilim sağlayan düz akım güç kaynağı ve topraklanmış bir toplayıcı plaka ile yüksek voltajlı bir elektrik alanı kullanır ve işlem esnasında çözücünün buharlaşması yoluyla kurutulduğundan nanolifler içeren ultra ince elyaflar ile sonuçlanır (Bhardwaj ve Kundu, 2010; Çiçek, 2016; Subbiah, vd., 2005; Wen, vd., 2017b). Bu işlemde polimer çözeltisi uygun bir şırınganın içine alınır ve bir pompa yardımıyla çözeltinin şırıngadan akması sağlanır. Bu esnada toplayıcı plaka ile şırınganın ucu arasında yüksek gerilim potansiyeli uygulanır. Metal şırınga ucundaki polimer çözeltisi belli bir voltaj değerine kadar küresel damlacık şeklindedir. Kritik voltaj değerine ulaşıldığında polimer çözeltisinin yüzey gerilimi ile elektrostatik kuvvetler eşitlenir ve polimer damlası koni (Taylor konisi) şeklini alır. Bu noktadan sonra voltajdaki en ufak bir artışla şırınganın metal ucundan toplayıcı plakaya doğru sürekli lifler oluşur. Polimer çözeltisindeki çözücü ise bu esnada hızla buharlaşarak uzaklaşır (Bhardwaj ve Kundu, 2010; Çiçek, 2016).

Elektrospinning cihazı genel hatları ile yüksek voltaj destek ve pompa ünitesi, şırınga, toplayıcı (kollektör) olmak üzere dört ana hattan oluşmaktadır (Şekil 2.2.). Bu ana hatların yanı sıra elektrospinning yönteminde bazı parametreler başarılı bir şekilde nanolif üretmek için büyük önem arz etmektedir. Bu parametreler optimum çözelti özellikleri (polimerin moleküler ağırlığı ve konsatrasyonu, viskozite, yüzey gerilimi, elektriksel iletkenlik, dielektrik sabiti), işlem koşulları (elektrospinning çözeltisinin akış hızı ve şırınga ucu, voltaj, toplayıcı ile şırınga ucu arası mesafe, toplayıcının tipi,) ve çevresel koşullardır (ortamın nemi ve sıcaklığı) (Bhardwaj ve Kundu, 2010; Çiçek, 2016; Ghorani ve Tucker, 2015; Haghi ve Akbari, 2007; Okutan, vd., 2014; Xue, vd., 2019).



Şekil 2.2. Elektrospinning düzeneği (Güçlü, 2012)

Nanolif üretimi için kullanılacak polimer çözeltisinde bazı özellikler bulunmalıdır. Bunlardan biri, spinning işlemi süresince kullanılacak polimerlerin

oldukça çözünür olmasıdır. Ayrıca polimer çözeltisi uygun konsantrasyona, molekül ağırlığa, viskoziteye, yüzey gerilimine ve iletkenliğe sahip olması gerekmektedir. Eğer bu şartlar yerine getirilirse, çözelti elektrik akımının etkisi ile toplayıcı (kollektör) bölüme doğru çekilir ve Taylor konisi en küçük lifli yapıyı bile döndürerek (spin ederek) biçimlendirir (Bhardwaj ve Kundu, 2010; Ghorani ve Tucker, 2015; Leidy, vd., 2019; Nieuwland, vd., 2013).

Çok düşük viskoziteli polimer çözeltilerinden sürekli bir lif üretimi olmadığı, çok yüksek viskoziteli çözeltilerde ise çözelti besleme zorluğu yaşandığı için elektrospinning işleminde polimerin yapısına göre optimum viskozitenin sağlanması gereklidir. Benzer olarak bu durum çözeltinin konsantrasyonu için de geçerlidir. Çünkü düşük konsantrasyonlarda lifler yerine boncuklar oluşturulur ve yüksek konsantrasyonlarda daha büyük liflerin oluşumu ile sonuçlanır. Polimer çözeltisinin konsantrasyonunda veya viskozitesinde artış olduğu takdirde daha büyük çaplı lif oluşumu gerçekleşmektedir. Polimerin konsantrasyonu, moleküler ağırlığı ve viskozitesi birbirleriyle ilişkilidir. Çözeltinin viskozitesi, sürekli liflerin elde edilebileceği konsantrasyon aralığının belirlenmesinde önemli bir rol oynar (Bhardwaj ve Kundu, 2010; Çiçek, 2016; Ghorani ve Tucker, 2015; Terzi, 2013).

Polimer çözeltisinin konsantrasyonu, iletkenlik ve yüzey gerilimi gibi diğer çözelti özelliklerini de etkilemektedir (Çiçek, 2016; Ghorani ve Tucker, 2015). Genel olarak, bir çözeltinin yüksek yüzey gerilimine sahip olması, jetlerin kararsızlığı ve püskürtülmüş damlacıkların oluşumu nedeniyle elektrospinning işlemini engeller (Bhardwaj ve Kundu, 2010; Ghorani ve Tucker, 2015). Liflerin, damlacıkların ve boncukların oluşumu çözeltinin yüzey gerilimine bağlıdır ve polimer çözeltisinin daha düşük yüzey geriliminin olması, elektrospinningin daha düşük bir elektrik alanında gerçekleşmesine yardımcı olur (Haghi ve Akbari, 2007). Elektriksel iletkenliğe sahip olmayan polimer çözeltileriyle elektrospinning işlemi gerçekleşemez. Çözeltinin elektrik iletkenliğinin artmasıyla birlikte nanoliflerin çapında önemli bir düşüş olduğu, çözeltinin düşük iletkenliği ile uniform lifler üretmek için jetin elektriksel kuvvetle uzamasının yetersiz kaldığı tespit edilmiştir (Bhardwaj ve Kundu, 2010). Dielektrik sabitinin yüksek olması, elektriksel yüklerin besleme çözeltisi içinde daha homojen dağılmasını sağlar. Böylelikle daha yüksek verimde nanolif oluşumu gerçekleşir. Başka bir ifadeyle, dielektrik sabiti arttıkça, birim alanda toplanan nanolif miktarı da artar (Çiçek, 2016). Uygun nanolif üretimi için spin edilecek polimerin molekül

ağırlığı da göz önünde bulundurulması gereken diğer parametrelerdendir (Bhardwaj ve Kundu, 2010; Fong, vd., 1999). Yüksek molekül ağırlıklı polimerler lif üretimi için genellikle uygun viskoziteyi sağladıklarından dolayı daha çok tercih edilirler. Yüksek molekül ağırlığı, polimer zincirinin karmaşıklığını gösterir ve viskozite ile ilişkilidir. Düşük molekül ağırlıklı polimerler ise daha çok damlacıklı yapı veya boncuk oluşturma eğilimindedirler (Çiçek, 2016).

Yukarıda açıklanan bilgiler birlikte ele alındığında, elektrospinning için polimere özgü, optimal viskozite ve konsantrasyon gibi değerlerin bulunduğunu ve bu özelliğin liflerin morfolojisi üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Elektrospinning işleminde uygulanan voltaj arttıkça lif çapındaki değişkenlik de artmaktadır. Voltajın yüksek olması, oluşan nanoliflerin çapında artışa neden olabildiği gibi tam tersi ince yapıya da ulaşabilmektedir (Çiçek, 2016; Ghorani ve Tucker, 2015). Ayrıca uygulanan voltajda kritik değerin ötesinde bir artış, boncuklu nanolif veya boncuk oluşumu ile sonuçlanmaktadır. Nedeni ise aynı akış hızı için jet hızındaki artışa ve Taylor konisinin boyutundaki düşüşe bağlanır (Haider, vd., 2018). Voltajın yanı sıra elektrospinning çözeltisinin akış hızı da önemlidir. Polimerik çözeltinin metalik iğne ucu içinden akışı, elektrospinning nanoliflerin morfolojisini belirler. Toplayıcıya doğru hareket eden çözeltinin miktarı ile akış hızı eşdeğer olmalıdır. Aksi takdirde, lif oluşumu homojen gerçekleşmez. Yüksek akış hızı liflerin çapını artırırken, düşük akış hızı ise Taylor konisi oluşturamamaktadır. Akış hızını kritik bir değerin üstüne çıkarmak, sadece gözenek boyutu ve lif çapında artışa yol açmaz, aynı zamanda iğne ucu ile metal toplayıcı arasındaki uçuş sırasında nano elyaf jetinin tam kurumaması nedeniyle boncuk oluşumuna neden olur (Bhardwaj ve Kundu, 2010; Haider, vd., 2018).

Nanolif üretiminde önem arz eden diğer işlem koşullarından şırınganın ucu, üretilen nanolifin çapını etkilemektedir. Küçük çaplı nanolifler küçük çaplı şırınga uçları kullanılarak elde edilmektedir. Ancak bu uçlar yüksek viskoziteli polimer çözeltilerin iletilmesinde tıkanıklık gibi bazı problemler oluşturabilmektedir (Çiçek, 2016). Toplayıcıya ulaşmadan önce kurumaya yeterli zaman vermek ve elektriksel alanın yeterli kuvveti sağlamak için şırınga ucu ile toplayıcı arasında minimum mesafenin gerekli olduğu bildirilmektedir, aksi halde çok yakın veya çok uzak mesafelerde boncuklar oluşabilmekte ve yaş halde nanolifler toplanmaktadır

(Bhardwaj ve Kundu, 2010). Kullanılan toplayıcının tipi de elektrospinning işleminin önemli bir yönüdür. Nanolifler topraklanmış toplayıcı plakaya temas ettiklerinde sahip oldukları elektriksel yük sıfırlanır. Dış kısımda kalan nanoliflerde yük boşalması daha yavaş gerçekleşir. Bu durum oluşan liflerin morfolojisini, özellikle de birim alandaki yoğunluklarını etkilemektedir. Hareketli plakalar daha homojen ve orantılı bir lif ağı oluşumu sağlar (Çiçek, 2016). Genel olarak, alüminyum folyo bir kollektör olarak kullanılır, ancak toplanan fiberlerin aktarılmasındaki zorluk nedeniyle ve çeşitli uygulamalar için iletken liflere ihtiyaç duyulması nedeniyle, iletken kağıt, iletken bez, tel örgü, paralel veya ızgaralı çubuk, döner çubuk, döner tekerlek gibi diğer toplayıcılar günümüzde yaygın toplayıcı tipleridir (Bhardwaj ve Kundu, 2010).

Çözelti ve işlem parametrelerinin yanı sıra, nem ve sıcaklık gibi ortam parametreleri de elektrospinning işlemini etkilemektedir. Sıcaklık ve viskozite arasında ters bir ilişki vardır. Mit-uppatham vd. (2004) sıcaklık arttıkça daha küçük çaplı nanoliflerin meydana geldiğini belirlemiştir ve lif çapındaki bu azalma, sıcaklık artışına bağlı olarak çözelti viskozitesinin azalması ile ilişkilendirilmiştir. Aynı çalışmada yüksek nemin, liflerde dairesel gözeneklere neden olduğu da belirlenmiştir. Çok düşük nemde ise çözücünün buharlaşması daha hızlı olduğu için çözeltinin hızla kuruyabildiği bulunmuştur. Ayrıca, yüksek nemin, elektrospun liflerinin tahliyesine yardımcı olabileceği de öne sürülmüştür (Bhardwaj ve Kundu, 2010).

Doğal ya da sentetik pek çok polimer elektrospinning yönteminde kullanılabilir. Yıllar boyunca 200'den fazla polimer başarılı bir şekilde elektrospin ile nanolif haline getirilmiştir. Polivinil alkol (PVA), polikaprolakton (PCL), polilaktik asit (PLA), polietilen oksit (PEO) poliglikolik asit (PGA) ve polivinil asetat ucuz olması, kolay bulunabilmesi ve fonksiyonel özelliklerinden dolayı en çok tercih edilen sentetik polimerlerdir (Bhardwaj ve Kundu, 2010). Sentetik polimerlerin yanı sıra kitosan, jelatin, selüloz, kazein, zein, aljinat gibi doğal polimerler de kullanılmakta olup elektrospinning ile nanolif eldesi de mümkündür (Bhardwaj ve Kundu, 2010; Ceylan, 2017; Terzi, 2013).

Nanolifler birim kütle başına geniş yüzey alanına, iyi mekanik özelliklere ve önemli fizikokimyasal özelliklere sahiptir (Frenot ve Chronakis, 2003; Huang, vd., 2003; Subbiah, vd., 2005). Özel bileşikler (aroma maddeleri gibi) nanolifler içerisinde daha iyi korunmakta ve daha stabil halde tutulabilmekte ve nanolifler sayesinde bileşiklerin kontrollü ve yavaş salınımı sağlanabilmektedir (Ceylan, 2017; Subbiah,

vd., 2005).

Protein-polisakarit etkileşimleri birçok gıda ürününün raf ömrünü ve dokusunu etkiler. Polisakaritler ayrıca, gıda kolloidlerinin stabilitesini ve reolojisinin kontrolünde önemli bir rol oynar (Dickinson, 2003). Birçok gıda kolloidleri, proteinlerin yanı sıra polisakaritleri de içerir ve protein-polisakarit komplekslerinin varlığı, yapı, stabilite ve reoloji üzerinde derin bir etkiye sahip olabilir (Dickinson, 2004). Nanobilim yaklaşımları, protein, lipid veya polisakarit gibi gıda bileşenleri arasındaki etkileşimi kontrol etmek ve gıdaların istenen yapısal ve reolojik özelliklerini elde etmek için kendi kendine birleşme davranışlarını moleküler ölçekte kullanılabilir (Dickinson, 2003, 2004; Sanguansri ve Augustin, 2006).

Proteinlerin, temel olarak karmaşık ikincil ve üçüncül yapıları nedeniyle, elektrospun edilmesi zordur. Döndürülebilir olması için, proteinlerin rastgele bir bobin konformasyonunda iyi çözülmesi gerekir. Globüler proteinler, eğirme işlemi sırasında dolanmak için birbirleriyle çok az etkileşime sahiptir. Protein çözeltisine bir taşıyıcı polimer karıştırılarak eğirme mekanizması iyileştirilerek, taşıyıcı olarak mükemmel eğirme özelliklerine sahip olan (PVA vb.) polimer parçacıkların eğirilmesine benzetilebilir (Şekil 2.3.). Böylece polimerin eğirilmesiyle, kendiliğinden elektrospunleme özelliklerine sahip olmayan ilave bileşenler lif içerisine katılabilir. Örneğin lateks küreler ile birleştirilmiş polivinil alkol (PVA) gibi son derece iyi döndürülebilir bir polimer için bileşen miktarı ağırlık bazında % 2 kadar düşük olabilir. Biyomedikal uygulamalardaki proteinler için PVA veya poli (etilen oksit) (PEO) genellikle 1:1 ile 1:20 oranındaki proteine yapışabilen polimer oranlarını kullanarak bir taşıyıcı olarak kullanılır (Nieuwland, vd., 2013).



Şekil 2.3. Taşıyıcı polimer ve protein arasındaki ilişki (Nieuwland, vd., 2013)

Proteinler veya aktif bileşikler için bir taşıyıcı olarak, elektrospunleme için seçilen polimer, doğal ve yenilebilir olmalı, toksik çözücülerin kullanılmasını gerektirmemelidir (Ghorani ve Tucker, 2015). PVA biyoyumlu, toksik olmayan, kanserojen olmayan, şişme özellikleri ve biyo-yapışkanlık özellikleri nedeniyle

taşıyıcı biyomateryal olarak kullanılır (Baker, vd., 2012).

## **2.4. Kaynak Özetleri**

### **2.4.1. Susam ve Susam Proteinleri ile İlgili Çalışmalar**

Ünal ve Yalçın (2008) Türkiye’de yetiştirilen dört çeşit susam tohumunun kimyasal bileşimini belirledikleri çalışmada nem miktarının %4.16-4.62, kül miktarının %3.88-5.30, protein miktarının %18.0-23.18 ve yağ miktarının ise %50.57-56.55 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Aynı çalışmada susam tohumlarının oleik ve linoleik asitleri başlıca doymamış yağ asitleri olarak, palmitik ve stearik asitleri ise başlıca doymuş yağ asitleri olarak bildirmişlerdir.

Fasuan vd. (2018a) susam tohumlarından aynı anda yağ ve protein geri kazanımını araştırdıkları çalışmalarında susam tohumunun nem, protein, yağ, ham lif, kül ve karbonhidrat miktarlarını 100 g kuru ağırlıkta sırasıyla 5.10 g, 25.73 g, 45.46 g, 3.42 g, 5.36 g ve 14.93 g olarak belirlemişlerdir. Achouri vd. (2012) susam proteinlerinin sodyum klorür ve amonyum sülfat kullanılarak seçici fraksiyonlanmasını inceledikleri çalışmada susam tohumunun nemini %2.70, protein miktarını %24.8, yağ miktarını %52 ve kül miktarını ise %2.89 olarak rapor etmişlerdir. Hassan (2012) iki farklı susam tohumu çeşidinin kimyasal bileşimini incelediği araştırmada sonuçlar, tohumların %2.86-3.06 nem, %21.43-23.18 ham protein, %3.04-4.04 kül, %6.75-7.31 ham lif, %57.77-59.28 ham yağ ve %4.33-6.95 toplam karbonhidrat içerdiğini göstermiştir. Elleuch vd. (2007) susam tohumunun %95.29 kurumadde, %25.77 protein, %52.24 yağ, %4.68 kül, %19.33 toplam lif, %2.48 çözünür şeker ve %0.88 nişasta içerdiğini bildirmiştir.

Gandhi ve Srivastava (2007) susam tohumlarının %10.50-11.0 nem, %26.94-27.65 ham protein, %5.56-5.59 kül, %3.80-3.90 ham lif, %47.79-48.21 ham yağ ve %5.59-8.95 toplam karbonhidrat içerdiğini bildirmişlerdir. Aynı çalışmada yağsız susam ununun %8.87-10.40 nem, %47.63-51.45 ham protein, %1.10-1.98 ham yağ ve %25.72-26.84 toplam karbonhidrat içerdiğini bildirmişlerdir. Protein izolatının ise %90.50 ham protein ve %7.80 kül içerdiğini, pH’sının 6.4 olduğunu, su tutma kapasitesini 192 ml/100 g ve yağ tutma kapasitesini 378 ml/100 g olarak bulmuşlardır.

Bir susam protein izolatının emülsifiye edici özellikleri ve protein çözünürlüğünün bir soya fasulyesi protein izolatıninkilerle karşılaştırılması sırasında, susam protein izolatının emülsifiye edici aktivite indeksinin (EAI) pH 4 ve 7'deki soya

fasulyesi protein izolatından daha iyi olduğu bulunmuştur (Lopez, vd., 2003). Onsaard vd. (2010) susam protein konsantrelerinin incelenmesi amacıyla yaptıkları çalışmada, susam protein konsantrelerinin çözünürlüğünün ve EAI'sinin soya protein izolatından daha yüksek olduğunu gösterirken, emülsiyon stabilite indeksi (ESI), köpüklenme özellikleri, susam protein konsantrelerinin su tutma kapasitesi ve yağ tutma kapasitesinin soya protein izolatınınkinden daha düşük olduğunu göstermektedir. Bu nedenle susam protein izolatlarının, çözünürlük ve emülsifiye edici özelliklerin gerekli olduğu soya proteini izolatlarının yerine koymak üzere bir gıda maddesi olarak kullanılabilmesini bildirmişlerdir. Sharma vd. (2016) susam unu ve susam protein izolatının fonksiyonelliğini değerlendirdiği araştırmalarında, susam protein izolatının yeni ürün geliştirme için uygun karakteristik özellikleri nedeniyle daha fazla yararlanılabileceğini belirtmişlerdir.

Khalid vd. (2003) susam tohumu proteinlerinin çözünürlüğü ve fonksiyonel özelliklerini inceledikleri araştırmada susamın protein içeriği %47.70, nem içeriği %3.61 olarak bulunmuştur. Çözünürlüğü ise pH 5'te %12, pH 3'te yaklaşık %90 ve pH 10'da yaklaşık %72 olarak bulmuşlardır. Aynı çalışmada su tutma kapasitesini 2.10 mL su/g protein, yağ tutma kapasitesini ise 1.50 mL yağ/g protein, emülsiyon kapasitesini pH 5'te 70 mL yağ/g protein, pH 2'de 150 mL yağ/g protein, emülsifiye edici aktivitesini pH 5'te %41, pH 2'de %87, emülsiyon stabilitesini pH 5'te %37.80, pH 2'de %75.20, köpük kapasitesini ise pH 5'te %2 olarak bulmuşlardır.

Sharma vd. (2016) susam protein izolatının nem, protein, yağ, kül ve lif içeriklerini sırasıyla %6.86, %90.50, %0.08, %2.08 ve %0.03 olarak tespit etmişlerdir. Gómez-Arellano vd. (2017) susam protein konsantresinin nem oranını %7.17, protein oranını %66.5 ve kül oranını %5.29 bulmuşlardır. Saatchi vd. (2019) susam proteini ve polisakkarit konjugatı elde ettikleri araştırmalarında susam protein izolatının kompozisyonunu %0.59 su, %81.66 protein, %0.49 yağ ve %4.60 kül şeklinde rapor etmişlerdir.

Cano-Medina vd. (2011) susam protein konsantresinin fonksiyonel özelliklerini incelemişlerdir. Araştırma sonucunda emülsiyon kapasitesini (EK) %38, emülsiyon stabilitesini (ES) %51 ve köpüklenme kapasitesini (KK) %117 olarak bildirmişlerdir. Bir başka çalışmada susam protein izolatı'nın (SPI) emülsifiye edici aktivitesini (EA) pH 9'da %8.70, pH 12'de %28.96, ES'ini pH 9'da %61.50, pH 12'de %98.70 olarak belirlenmiştir. Aynı çalışmada SPI'nın KK değerleri pH 9 ve 12'de sırasıyla %15.23

ve %23.56, KS değerleri ise pH 12'de %89.60 olarak bildirilmiştir (Sharma, vd., 2016).

Fasuan vd. (2018b) alıřmalarında susam protein izolatının (SPI) pH 4'te (%8.39) en dūřuk ve pH 10'da (%55.08) en yūksek özünūrlük gösterdięini bildirmiřlerdir. Aynı çalıřmada susam protein izolatının emūlsiyon aktivite indeksini (EAI), emūlsiyon stabilite indeksini (ESI), KK ve KS deęerlerini de incelemiřlerdir. En dūřuk EAI pH 4'te meydana gelmiř ve 0.0 M için 9.47 m<sup>2</sup>/g, 0.5 M için 12.57 m<sup>2</sup>/g ve 1.0 M için 13.39 m<sup>2</sup>/g olarak, en yūksek EAI deęeri ise pH 10'da 20.82 m<sup>2</sup>/g olarak tespit edilmiřtir. En dūřuk ESI, tūm tuz konsantrasyonları için pH 4'te meydana gelmiřtir ve ESI deęerleri 0.0 M, 0.5 M ve 1.0 M NaCl için sırasıyla %28.94, %31.33 ve %47.37 olarak tespit edilmiřtir. En dūřuk KK deęeri (0.0 M, 0.5 M ve 1.0 M için sırasıyla %13, %22 ve %26.84) izoelektrik pH (pH 4) civarında meydana gelmiřtir ve pH 4'ten önceki veya sonraki pH deęerlerinde tūm NaCl konsantrasyonları için KK deęerlerinde artıřa neden olduęu bildirilmiřtir. En yūksek KK deęerleri ise (0.0 M için %66.50, 0.5 M için %94.50 ve 1.0 M için %95.42) pH 10'da meydana gelmiřtir. Susam protein izolatı için pH 2'den pH 4'e yūkseldike KS deęerleri ise azalmıřtır.

Gharby vd. (2017) Fas'ta yetiştirilen susam tohumlarının yaę içeriğinin ve besin bileşiminin karakteristik özelliklerini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada, majör doymamış yaę asitleri linoleik asit (%46.9) olurken, bunu oleik asit (%37.4) takip etmiş, majör doymuş yaę asidi olarak ise palmitik asidi (%9.1) belirlemişlerdir. Aynı çalışmada bileşim analizi, susam tohumlarının önemli miktarda protein (%22) ve yūksek miktarda lipit (%52) içerdiğini ortaya koymuştur.

Saini vd. (2018) araştırmalarında SPI'nın termal, yapısal ve reolojik özelliklerini değerlendirmişlerdir. X-ışını kırınımı, biri 10°'de (kūuk yoğunlukta) ve diğeri 19.5°'de (yūksek yoğunlukta) olmak ūzere iki kırılma tepe noktası sergilemiştir. Termo-gravimetrik analiz, sıcaklığın 450 °C'den fazla artması durumunda proteinin tamamen bozunduğunu göstermiştir. Diferansiyel tarama kalorimetrisinde, SPI için başlangıç sıcaklığı 176.0 °C'de başlamış ve SPI için tepe denatūrasyon sıcaklığı 210 °C'de gözlemlenmiştir. SPI'nin FTIR'ı, Amid A, Amid B ve Amid I-V bantlarının varlığını göstermiştir. SPI, kesme hızındaki artışla viskozite azalması ile karakterize edilen kesme incelmesi davranışı sergilemiştir. Minimum viskozite, kesme hızı 700 ila 800 s<sup>-1</sup> arasında değiştiğinde gözlemlenmiştir. SPI jelinin viskoelastik davranışı, sıcaklık tarama testi sırasında gözlemlenmiş ve test boyunca G', G'' ye baskın çıkmıştır.

Genel olarak, gözlemlenen parametreler, susam proteininin endüstriyel uygulama için gerekli olan iyi bir termal stabilite ve uygun reolojik özellikler sergilediğini ve bu nedenle protein destekli gıdaların verimli bir kaynağı olarak kabul edilebileceğini göstermiştir.

Vemuri vd. (2019) susam tohumundan elde ettiği proteinlerin FTIR analizi sonucunda amid I, amid II ve amid III bölgelerine karşılık gelen bantları tespit edildiğini bildirmiştir.

Susam protein izolatının yenilebilir film oluşumu için değerli bir kaynak olarak kullanılabilmesi bildirilmiş ve susam protein izolatından yenilebilir filmlerin hazırlandığı çalışmalar mevcuttur (Fathi, vd., 2018, 2019; Sharma ve Singh, 2016). Fathi vd. (2018) susam protein izolatı bazlı yenilebilir filmlerin XRD kırınımını 2θ'de 9.9° ve 20.3°'de iki spesifik tepe gösterdiğini, bununda SPI'nin nispeten iyi bir kristal derecesine sahip olduğunu ve bu nedenle yarı kristal bir biyopolimer olarak sayılabileceğini bildirmişlerdir. Sharma ve Singh (2016) ise susam protein bazlı yenilebilir filmlerin XRD'si, filmlerin ana yapısının amorf olduğunu gösteren 20°'de yalnızca bir ana kristal yansıma gösterdiğini tespit etmişlerdir. Yenilebilir filmin FT-IR spektrumları ise ana absorpsiyon zirvelerinin 800-1150 cm<sup>-1</sup> spektral aralığında yer aldığını ve amid I, amid II, amid III, amid A ve B bölgelerine karşılık gelen bantların tespit edildiğini bildirmişlerdir. Aynı çalışmada susam protein filminin DSC ve TGA aracılığıyla termal performansı analiz edilmiştir. Sonuç olarak susam protein izolatı 37 °C'lik Tg sergilemiş ve erime sıcaklığı 98.25 °C olarak tespit edilmiş, üç aşamada ağırlık kaybı sergilemiştir (100 ile 325 °C arasında değişen sıcaklık göstermiştir).

#### **2.4.2. Tahin ile İlgili Çalışmalar**

Konsantre süspansiyonlarda partikül boyutu dağılımı çok önemlidir. Yapılan bir çalışmada tahinin %76'sının 10 µm' den küçük ve %14'ü 100-500 µm partikül boyutunda olduğu tespit edilmiştir. Tahinde istenmeyen yağ ayrışmasında, partikül boyutu küçük olan fraksiyon miktarının fazla olmasının etkin olduğu rapor edilmiştir (Lindner ve Kinsella, 1991). Tahin, raf ömrü açısından kimyasal bozulma reaksiyonlarına dayanıklı olmasına rağmen, tahinin depolanması sırasında kolloidal kararsızlık ana problemdir (Çiftçi, vd., 2008).

Tahin içindeki faz ayrımı tüketiciler tarafından olumsuz olarak algılandığından, uzun süreli depolamada yağ ayrışmasını önlemek veya en azından minimuma

indirmek için girişimlerde bulunulmuştur. Tahinin bal veya pekmez gibi geleneksel ürünler ile karıştırmak stabilitedeki karasızlık sorununu çözümenin bir yoludur. Gıda katkı maddelerinin (monogliseritler ve hurma veya hidrojene bitkisel yağ gibi) eklenmesi, fıstık ezmesinde yağ sızıntısını kontrol altına almak için sıklıkla uygulanan bir uygulama olup, tahinin veya diğer yağlı ezmelerinin fiziksel stabilitesini arttırmanın alternatif bir yolu olabileceği tahmin edilmektedir (Al-Manasneh, vd., 2017; Ereifej, vd., 2005; Evlogimenou, vd., 2017). Polar olmayan katkı maddesi ya da yağlı madde dahil edilmesinin bir sonucu olarak yağlı ezmelerin/macunların fiziko-kimyasal stabilitesinin arttırılması, muhtemelen katı parçacıkların çökmesini önleyen, ezmenin serbest yağ viskozitesindeki artışa bağlanmaktadır (Evlogimenou, vd., 2017). Ayrıca süspansiyonun reolojisi, sürekli ortamın ve dağınık parçacıkların özelliklerine ve nispi miktarlarına büyük ölçüde bağlıdır (Lokumcu Altay ve Ak, 2005). Özellikle emülsiyon ve süspansiyon gıda ürünlerinin partikül büyüklüğü analizi ve reolojik karakterizasyonu, gıdaların formülasyonlarında, işlenmesinde, taşınmasında ve depolanmasında önemlidir (Çiftçi, vd., 2008).

Lokumcu Altay ve Ak (2005) tahinin reolojik özellikleri inceledikleri çalışmada, tahinin sürekli kayma davranışının psödoplastik olduğu ve bir güç yasası modeli ile tanımlandığını belirtmişlerdir. Tahinin kıvam katsayısı oda sıcaklığında depolama sırasında düşme eğilimi göstermiştir. Ayrıca, %20'ye kadar katı içeren sulandırılmış süspansiyonlar Newton davranışı sergilerken, daha fazla katı ve sadece tahin içerenler psödoplastik davranış göstermiştir. Aynı çalışmada tahinin nem, protein, yağ ve kül içeriklerini sırasıyla %0.63, %26, %58.8 ve %2.55 olarak bulmuşlardır.

Akbulut ve Çoklar (2008) tahin, Bozkır tahin ve karışımlarının belirli kalite ve reolojik özelliklerini inceledikleri çalışmada tüm sıcaklıklarda (15-65 °C) Newtonyen olmayan psödoplastik davranış gösterdiğini bulmuşlardır. Kıvam katsayısı (K) 3.97–28.08 Pa.s<sup>n</sup> aralığında, akış davranışı indeksi (n) 0,4587-0,6830 aralığında değişmiştir. Sıcaklık her iki parametreyi de önemli ölçüde etkilemiştir. Ayrıca, tahinin nem içeriğini %1.86, protein içeriğini %23.77, yağ içeriğini %55.42, lif içeriğini %3.11 ve kül içeriğini %2.78 olarak tespit etmişlerdir.

Hou (2017) tahin reolojisine farklı su miktarları eklenmesinin etkisini araştırdığı çalışmada tahinin %0.12 nem, %59.71 ham yağ, %17 protein, %5.01 kül, %3.78 ham lif ve %7.70 toplam karbonhidrat içerdiğini ve tüm numunelerin viskoelastik katıların özelliklerini gösterdiğini belirtmiştir.

Hou vd. (2018) dokuz farklı markaların tahinlerinin fiziko-kimyasal, reolojik ve duyuşsal özelliklerini araştırmışlardır. Tahinlerin nem içeriği %0.12-1.10, yağ içeriği %51.80-61.56, protein içeriği %16.08-20.10, ham lif içeriği %2.53-3.78, toplam kül içeriği %4.48-5.70 ve toplam karbonhidrat içeriği ise %6.23-18.57 arasında değişmiştir. Ayrıca, tüm tahin örnekleri psödoplastik özellik göstermiştir. Akış indeksleri, test edilen tahinler için 0.67 ile 0.81 arasında iken, kıvam katsayısı önemli ölçüde (4.48-24.21 Pa.s<sup>n</sup>, p<0.05) değişebilmiştir. Tahinlerin hem depolama modülü (G') hem de kayıp modülü (G'') artan frekansla artmış ve G' değerleri G'' değerlerinden daha büyük olarak tespit edilmiştir.

Tounsi vd. (2019) keğiboynuzu pekmezinin tahinin fiziksel ve besinsel kalite parametreleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Araştırmalarında tahinin nem, protein, yağ ve kül içeriklerini sırasıyla %0.35, %25.35, %64.56 ve %2.67 bulmuşlardır. Fiziksel analizler tahine keğiboynuzu pekmezinin eklenmesinin emülsiyon stabilitesini arttırdığını, rengini bejden kahverengiye değiştirdiğini ve dokusunu sıvıdan katıya değiştirdiğini göstermiştir.

Rababah vd. (2017) tahinin nemini %1.30, proteinini %26.5, yağını %56.5 ve külünü %3.6 olarak tespit etmişlerdir. Tahinin sodyum miktarını 288.6 mg/100 g, kalsiyum miktarını 20.4 mg/100 g, potasyum miktarını 276.5 mg/100 g ve fosfor miktarını 570.8 mg/100 g olarak tespit etmişlerdir.

Evlogimenou vd. (2017) tahinin stabilitesinin yağ ayrışması ve partikül sedimentasyonuna karşı iyileştirilmesi için yağ bakımından zengin hammaddelerin sulu ekstraksiyon artıklarının dahil edilebileceğini öngörmüşlerdir. Mevcut araştırmada fındık, mısır tohumu ve susam tohumundan elde edilen üç sulu ekstraksiyon kalıntıları toz haline getirilerek, tahinin etkin fiziksel stabilizatörleri olarak karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, elde edilen tozlar tahine dahil edilmelerini takiben uzun süre depolandıklarında tahinin yağ ayrışmasına karşı stabilitesini belli bir seviyeye kadar arttırmıştır. Yağ salımına karşı kararlılığın artırılması, tahin yapısı içindeki katı parçacık etkileşimlerinin sayısındaki artış ve kuvvet ile bağlantılı olabileceği bildirilmiştir.

Al-Manasneh vd. (2017) farklı konsantrasyonlarda palm yağı (PO) ve distile monoglisericid (DMG) ilavesinin tahinde yağı ayrıştırma üzerindeki etkisini değerlendirmek ve eklenen DMG ve PO'nun tahinin reolojik davranışı üzerindeki

etkisini modellemek amacıyla çalışma yürütmüşlerdir. DMG ilavesi tahinin viskozitesini arttırırken, PO ilavesi azaltmıştır. Tahin-DMG karışımının reolojik davranışının, sabit kayma hızında belirgin viskoziteyi azaltan, tiksotropik, Newton olmayan bir akış davranışı sergilediği gözlenmiştir. %8 (w/w) konsantrasyonunda ilave edilen DMG'nin, PO'dan daha iyi bir yağ bağlayıcı olarak kullanıldığı sonucuna varmışlardır. Sonuçlar, yağ ayırımının %2 PO'da %12,5 ve %8 DMG'de %50 azaldığını göstermiştir.

Tahinde depolama dayanıklılığının arttırılması ve yağ ayrılması sorununun giderilmesi amacıyla tahin üzerinde sıcaklığın ve partikül boyutunun etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, 20 °C'de depolanan tahinlerde yağ ayrışmasının tanecik boyutu düştükçe yükseldiğini, ancak sıcaklığın 30 °C olmasıyla depolama dayanıklılığının tanecik boyutundan bağımsız hale geldiğini bildirmişlerdir (Çiftçi, vd., 2008). Aynı çalışmada istatistiksel analizler sonucunda tahinin depolama stabilitesinin hem sıcaklığa hem de tanecik boyutuna bağlı olduğunu ancak sıcaklığın stabiliteye etkisinin tane boyutundan daha fazla olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar, her üç depolama sıcaklık seviyesinde de (20 °C, 30 °C ve 40 °C) tahin için kritik tanecik boyutunun 5 µm olduğunu tespit etmişlerdir.

Başdoğan (2016) ultrases (Ultrasound) tekniğinin tahinde meydana gelen yağ fazı ayrılmasını azaltmak amacıyla kullanılmasını araştırmıştır. Araştırma kapsamında sürekli sistem ultrasonik homojenizatör ile farklı akış hızlarında ve dalga genliği seviyelerinde, yağ ayrışmasını önlemek amacıyla tahin numunelerine işlem yapılmıştır. Ultrasound tekniğinin uygulandığı numuneler, emülgatör olarak lesitin ilave edilmiş numuneler ve kontrol grubu (herhangi bir işlem görmemiş) numuneler ile karşılaştırılarak ultrases metodunun endüstride kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Çalışmada 6 aylık depolama sonuçlarına göre %50 genlik gücünde ultrases uygulanan numunelerdeki yağ ayrılmasının kontrol numunesinden önemli seviyede farklı olmadığı belirlenmiştir. %75 ve %100 genlik gücünün kullanıldığı numunelerdeki yağ ayrılmasının ise kontrol grubuna göre %23 daha az olduğu belirlenmiştir. Ayrıca aşırı ultrases uygulamasının hem duyuşal özellikleri olumsuz etkilediği hem de ürün sıcaklığını aşırı artırdığı belirlenmişken, ultrases işleminin ürünlerde reolojik özellikleri üzerine önemli bir değişime sebep olmadığı tespit edilmiştir.

Yetkin (2019) çalışmasında tahin içerisine farklı oranlarda (%0.5, %1, %2, %3)

üç çeşit katkı (lesitin, susam lifi ve şeker pancarı lifi) ilave edilmiştir. Depolama boyunca (0., 30., 60. ve 90. gün) katkı seviyesinin, katkı çeşidinin ve zamanın tahinden yağ fazının ayrılmasının önlenmesi üzerine etkisi incelenmiştir. Yağın yapıdan ayrılmasının kontrol numunesine göre yaklaşık %30 düzeylerine kadar engellediği tespit edilmiştir. Yağ ayrılmasını önleyebilmek veya azaltabilmek için kullanılacak katkı maddelerinin seçiminde, katkı maddesinin faz viskozitesini artırması, ürüne daha iyi karışması ve özellikle partikül boyutunun daha düşük olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Kullanılacak katkı maddelerinin protein bazlı katkıları olmasının da yapıdaki yağın tutulması ve dolayısı ile flokülasyon oluşturmaması açısından oldukça önemli olduğu tespit edilmiştir.

Hou vd. (2020) araştırmalarında ticari tahinleri depolama stabilitesi, koloidal stabilite ve oksidatif stabilitedeki değişiklikler açısından değerlendirmişlerdir. Çalışma 4°C depolama sıcaklığında, oda sıcaklığında (ortalama 20.5°C) ve 40°C'de 180 gün boyunca yürütülmüştür. Tahinin partikül boyutları, artan depolama sıcaklıkları ile büyümüştür. Yağ ayrımları, sıcaklık dalgalanmasına atfedilebilecek olan oda sıcaklığında en yüksek seviyede görülmüştür. Araştırmacılar susam ezmesinin sırasıyla 40°C'de 30 günden, oda sıcaklığında 60 günden veya 4°C'de 120 günden fazla saklanmamasını önermişlerdir.

Ogutcu vd. (2018) tahinde doğal mumlarla faz ayrılması problemini önlemek için yaptıkları araştırmada ticari olarak elde edilen tahine belirli konsantrasyonlarda ayçiçeği (%1 ve %3) ve balmumu (1,3 ve %5) ilave edilmiştir. Numuneler 21 gün boyunca 25 ve 35°C'de saklanmıştır. Numunelerin santrifüjleme stabilitesi, yağ sızıntısı, dokusal özellikleri, viskozitesi ve tüketici testleri analiz edilmiştir. Bal mumu ve ayçiçeği mumu ilave edilen numuneler, sade tahin (kontrol) ile karşılaştırıldığında daha düşük yağ sızıntı değerlerine sahip çıkmıştır. Viskozite ölçümü, kontrol ve balmumu (%1 ve %3) eklenmiş numunelerin sahte plastik reolojik davranış sergilediğini göstermiştir. Dokusal ölçümler, %3 ayçiçeği mumu ile hazırlanan tahinin, %1 ayçiçeği mumu ve %5 balmumu ile hazırlanan tahine göre daha sıkı ve yapışkan olduğunu göstermiştir. Ek olarak, numunelerin dokusal özellikleri, depolama sıcaklıklarından önemli ölçüde etkilenmiştir. Ayrıca, %1 ve %3 ayçiçeği ve %5 balmumu katkılı numuneler sürülebilirken, %1 ve %3 balmumu ilave edilmiş numuneler akışkan olmuştur. Sonuç olarak, ayçiçeği ve balmumu ilavesi tahine sadece faz ayrılmasını kısıtlamakla kalmamış, aynı zamanda tahinde balmumu

konsantrasyonuna bağlı olarak sürülebilir forma dönüşmüştür.

### 2.4.3. Nanolifler ile İlgili Çalışmalar

Nanoyapıların çeşitli gıdaların farklı fizikokimyasal özellikleri üzerinde etkilerinin araştırıldığı çalışma sayısı hızla artış göstermektedir. Bu bağlamda son yıllarda bakıldığına nanopartiküller (Munawar, vd., 2019; Ortega, vd., 2019), nanoemülsiyonlar (Almasi, vd., 2020; Liu, vd., 2020) ve nanolifler (Aman Mohammadi, vd., 2019; Hosseini, vd., 2019; Pan, vd., 2019; Rezaeinia, vd., 2020; Yang, vd., 2020; Wang, vd., 2019) gıdaların kalite parametrelerini geliştirmek amacı ile kullanıldığı görülmektedir.

Cho vd. (2012a) soya protein izolatı (SPI)/PVA hibrit nanolif matların mekanik özelliklerinin ve biyobozunurluğunun değerlendirmesini yapmışlardır. SPI, globüler bir proteindir ve bu nedenle kendi başına güçlü lifler üretmeyeceğinden, gerekli gücü sağlamak ve böylece liflerin oluşumuna yardımcı olmak için PVA bir taşıyıcı polimer olarak eklenmiştir. Sonuç olarak, SPI oranı arttıkça, elektrospun nanolif matların mekanik kuvvetinin azaldığını ortaya koymuşlardır. Yüksek oranda SPI (ağırlıkça % 50) oranı lifleri kırılğan hale getirmiştir ve bu nedenle bu elyaflar çekme özellikleri için başarıyla test edilememiştir. Elektrospun SPI/PVA nanolif matların biyobozunur özelliği, bir kompostlama ortamında değerlendirilmiştir. Cho vd. (2010) bir başka çalışmalarında saf SPI çözeltisini elektrospin ettiklerinde sürekli üniform lif üretimi başarısız olmuştur. Çözeltinin dönebilirliğini artırmak için çözeltiliye PVA eklemiş ve nanolif üretebilmişlerdir. Cho vd. (2012b) negatif yüklü yüzeye sahip olan veya olmayan organik iletken PVA nanolifleri, biyolojik ve kimyasal türler için ve radyasyon saptaması için yüksek hassasiyete sahip, gerçek zamanlı elektrik bazlı sensörler oluşturmak için yürüttükleri çalışmada toksik bir çözücü kullanmadan, hidrofilik iletken PVA nano lifleri, sulu dispersiyondaki PVA içerikleri optimize edilerek başarıyla üretmişlerdir.

El Halal vd. (2019) elektrospinleme ile siyah fasulye protein konsantrelerinden (BPC) ve polivinil alkolden (PVA) ultra ince elyaflar üretmiştir. PVA ve BPC içeren polimerik çözeltiler, biyoaktif bileşiklerin ve gıda uygulamalarının kapsüllenmesi için potansiyel olarak kullanılabilir çok elverişli özelliklere sahip ultra ince elektrospun lifleri ile sonuçlanmıştır.

Aguilar-Vázquez vd. (2020) bezelye proteini izolatı (PPI) ve fasulye proteini

konsantresi (BPC), çeşitli çözücüler kullanılarak elektroğirme yoluyla lif oluşturan bitkisel kaynak malzemeler olarak değerlendirmişlerdir. BPC, elektrospinning prosesinde PPI'dan daha iyi performans göstermiştir. Protein izolatlarının denatürasyonu lif oluşturmak için yeterli olmadığını belirtmişlerdir.

Woerdeman vd. (2007) buğday gluten proteininin elektrospinning davranışı üzerindeki hidroksil uç gruplarının etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada yüksek moleküler ağırlıklı bir katkı maddesinin (sentetik biyolojik olarak parçalanabilen bir polimer) poli-vinil alkol:buğday gluteninden elektrospin lifler oluşturma yeteneği üzerindeki etkisine odaklanmışlardır. Elektrospin sistemine daha fazla PVA dahil edildiğinde buğday gluteninin lif oluşturma özelliklerinin geliştiğini bulmuşlardır.

Han ve Chen (2013) çalışmasında polivinil alkol (PVA) ve glutenden sinerjiye dayalı olarak kompozit nanolif üretilmiştir. Kompozit nanolifde gluten ve PVA sırasıyla elastikleştirici ve iskelet polimeri olarak görev görmüştür. Kompozit nanolifin özelliği, PVA'ninkinden belirgin şekilde üstün çıkmıştır. PVA/gluten'den elde edilen nanolifin homojenliği ve ortalama çapı artarken boncuk sayısı ve çapı azalmıştır. PVA'dan elde edilen nanolif ile karşılaştırıldığında, PVA/gluten'den elde edilen nanolifin uzama ve su emiciliği sırasıyla %121 ve %150 oranında artmıştır.

Moomand ve Lim (2015) balık yağının zein liflerinde %30'a (w/w) kadar kapsüllenmesi için bir elektro-ğirme yöntemi geliştirmiştir. Düşük zein polimer konsantrasyonunun (%10 w/w) elektrospreylenmiş agrega oluşumunu desteklediğini göstermiştir. Ancak, yüksek zein polimer konsantrasyonunda (%20 w/w) lifler ve lifler/tanecikler gözlenmiştir.

Gutschmidt vd. (2021) çalışmalarında poli(vinil alkol)/soya proteini izolatu (PVA/SPI) nanofiber matları elektrospinleme ile üretilmiş ve ilaç taşıyıcı olarak kullanılmıştır. PVA nanoliflerine SPI'nin dahil edilmesi, liflerin mekanik mukavemetini de artırarak, onların daha kolay işlemlerini ve potansiyel olarak daha uzun ömürlü olmalarını sağladığı sonucuna varmışlardır.

Shanesazzadeh vd. (2018) ayçiçeği proteini izolatu (SPI) nanoliflerinin elektrospinning yöntemi ile üretimi ve karakterizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Ortalama çapları 304 ile 400 nm arasında değişen nanolifler elde edilmiştir. 18 kV gerilimde, 40:60 SPI:PVA hacim oranı ve 0.75 ml/saat akış hızı, ortalama çapı 398 nm olan boncuksuz ve homojen nanolifler üreten elektrospin için optimum koşullar olarak

belirlenmiştir. Ayrıca DSC ve TGA sonuçları, protein ve PVA'nın karışabilirliğini ve ısı işlem görmüş numunenin daha yüksek termal stabilitesini göstermiştir.

Fang vd. (2016) biyolojik olarak parçalanabilen ve çok işlevli bir hava filtrasyon membranı hazırlamak amacıyla soya proteini izolatu (SPI)/polivinil alkol (PVA) sisteminin elektrospınlemesini yapmışlardır. Sonuç olarak bu tür bir filtrasyon membranı, çalışmada *Escherichia coli*'ye karşı antimikrobiyal aktivite göstermiştir. Uygun malzeme bileşimine ve mikro yapıya sahip SPI/PVA hibrit nanofiber membran, yeni bir tür yüksek performanslı çevre dostu filtrasyon malzemeleri olarak kullanılabilceğini belirtilmiştir.

Soya proteinleri tek başına elektrospın yapılamaz, ancak elektrospın yapılması için bir taşıyıcı polimere ihtiyaç duymaktadır. PEO ve PVA soya proteinleri için taşıyıcı olarak kullanılmaktadır (Mendes, vd., 2017). Dolayısıyla mevcut çalışmada da nanolif üretiminde, soya protein izolatlarına benzer özellikleri nedeniyle susam protein izolatları için PVA'nın kullanılması tercih edilmiştir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Susam ve Tahin

Susam tohumları ve tahin (Şekil 3.1.) yerel bir fabrika olan Olam Group Company Pro Gıda tarafından (Samsun, Türkiye) temin edilmiştir. Temin edilen susam tohumları ve tahin Ondokuz Mayıs Üniversitesi Gıda Mühendisliği laboratuvarlarına taşınmış ve analizlere kadar oda sıcaklığında depolanmıştır.



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan susam ve tahin

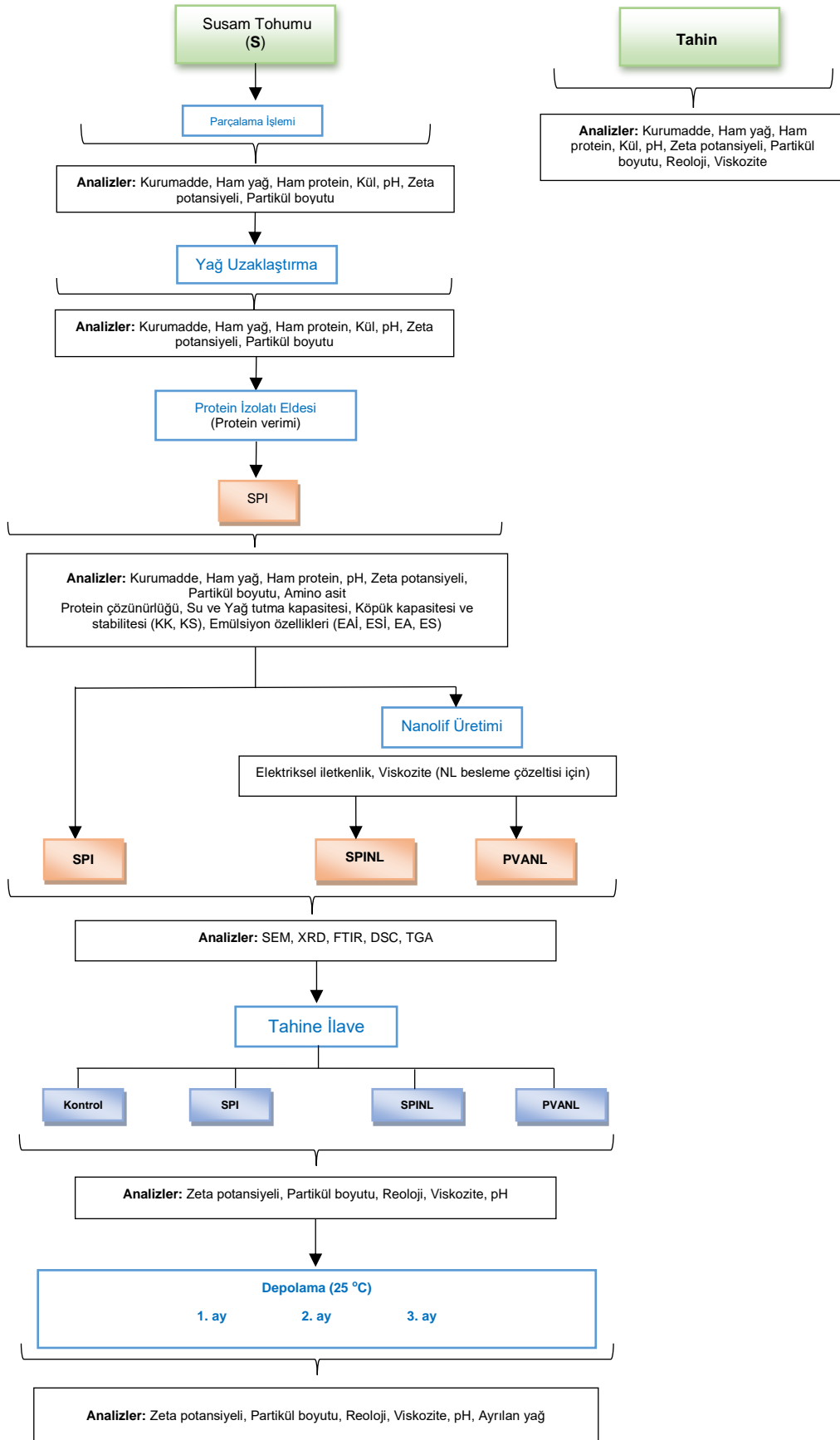
##### 3.1.2. Kimyasallar ve Standartlar

Çalışmada kullanılan dietil eter (CAS no: 60-29-7), ve sodyum hidroksit (CAS no: 1310-73-2) Isolab'dan, Kjeldahl tablet (CAS no: 115348), borik asit (CAS no: 10043-35-3) ve Tween 80 (CAS no: 9005-65-6) Merck'den, hidroklorik asit (CAS no: 7647-01-0), sülfürik asit (CAS no:7664-93-9), sodyum klorür (CAS no: 7647-14-5), sodyum dodesil sülfat (CAS no: 151-21-3), Bradford reagent (B6916), sığır serum albümini (CAS no: 9048-46-8) ve PVA (CAS no: 9002-89-5) ise Sigma-Aldrich'den temin edilmiştir. Deiyonize su, Milli-Q (Millipore) su arıtma sisteminden elde edilmiştir. Mısır özü yağı (Bizim, Ülker) yerel bir marketten satın alınmıştır.

#### 3.2. Yöntem

##### 3.2.1. Üretim Yöntemleri

Çalışmanın işlem basamakları ve analizleri Şekil 3.2.'de gösterilmiştir. Buna göre ilk aşamada susamdan protein izolatu elde edilmiş ve elde edilen izolatlardan nanolif üretimi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra protein izolatları ve nanolifler katkı olarak tahin örneklerine ilave edilerek depolama boyunca değişiklikler incelenmiştir.

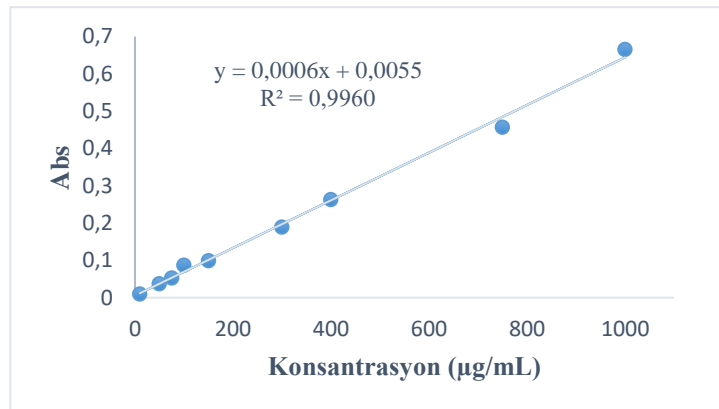


Şekil 3.2. Çalışmanın işlem basamakları ve analizleri

### 3.2.1.1. Protein İzolatı Üretimi

Susamdan, susam proteinlerini elde etmek için ilk olarak susam tohumlarından yağı uzaklaştırılmıştır ve kurutulmuştur. Bu işlem için eter ekstraksiyon yöntemi Onsaard vd. (2010) tarafından kullanılan yöntem modifiye edilerek kullanılmıştır. Susam tohumları bir mutfak blendır (AR1133, Arzum, Türkiye) içinde öğütülerek ve dietil eter (1:4 w/v, susam/çözücü) ile 3 saat boyunca oda sıcaklığında 150-200 rpm devir hızıyla sabit karıştırılarak yağı giderilmiştir. Bulamaç, dört kez daha yağdan arındırılmış (aynı susam/çözücü oranı kullanılarak) ve daha sonra yağı alınmış susam filtre kağıdı ile süzülüş ve yağlı eter fazı 40 °C etüvde bir gece boyunca kurutularak uzaklaştırılmıştır. Kurutulduktan sonra yağdan arındırılmış susam tohumu (YS) protein ekstraksiyonu için kullanılmıştır.

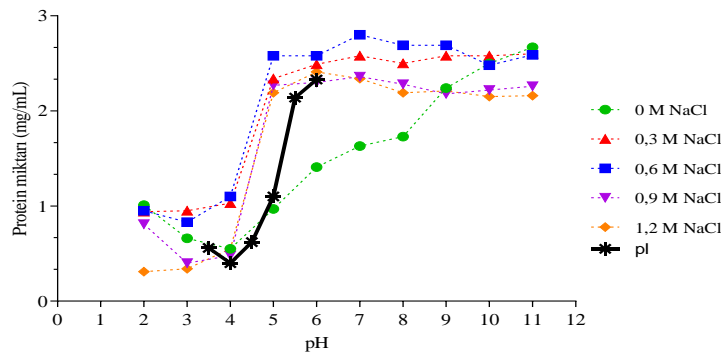
Protein izolatu eldesinde literatürde birçok yöntem bulunmakla beraber, her materyal için şartların optimize edilebilmesi amacıyla ön deneme önerilmektedir. Özellikle proteinlerin çözünme ve izoelektrik nokta farklılıklarına göre en iyi ekstraksiyon koşulları belirlenmelidir (Dündar Emir, 2014). Yağı alınmış susam tohumundan yüksek verimle protein izolatlarının elde edilmesi amacıyla öncelikle en uygun şartlar belirlenmiştir. Ortamda NaCl varlığında yağlı tohum proteinlerinin daha iyi çözünebildiğine dair literatür bilgilerine dayanılarak maksimum protein veriminin sağlanması amacıyla, çalışmamızda öncelikle en uygun tuz konsantrasyonu ve pH değeri belirlenmiş, daha sonra izoelektrik nokta tespiti yapılmıştır. Sığır serum albumini (BSA) standart olarak kullanılmış ve spektrofotometrede (T80+, PG Instruments Limited, Birleşik Krallık) 595 nm’de çizilen kurve (Şekil 3.3.) yardımıyla protein miktar belirlemeleri yapılmıştır.



Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan BSA standart eğrisi

Protein ekstraksiyonunu optimize etmek için ilk olarak en uygun pH ve tuz konsantrasyonları Achouri vd. (2012) yönteminin modifiye edilmesi ile belirlenmiştir. Stok YS süspansiyonları (%10 w/v) farklı sodyum klorür konsantrasyonlarının (0, 0.3, 0.6, 0.9 ve 1.2 M) varlığında hazırlanmış ve 35 °C’de 2 saat 300 rpm de çalkalanmıştır. Süspansiyonlar yaklaşık 10 mL olacak şekilde test tüplerine bölünmüş ve pH’ları, 1N HCl veya 1N NaOH kullanılarak 2 ila 11 (1 birim artışla) aralığını kapsayacak şekilde ayarlanmıştır. Dispersiyonlar 2 saat oda sıcaklığında sürekli karıştırılarak pH’ları istenen seviyede tutulmuştur. Örnekler 30 dakika süreyle sonikasyona tabi tutulmuş ve 2060 x g’de 30 dk santrifüjlenmiştir (NF 1200R, Nuve, Türkiye). Süpernatantların protein içeriği, Bradford (1976) yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. Maksimum protein içeriğine sahip numuneler, protein ekstraksiyonunu maksimize etmek için en uygun pH ve tuz konsantrasyonu koşulları olarak seçilmiştir.

Protein ekstraksiyonu için izoelektrik nokta (pI) çökeltme yöntemini kullanmak için örneklere ait izoelektrik noktaların belirlenmesi amacıyla, en uygun pI Asanga Ratnayake Manamperi vd. (2007) tarafından kullanılan yöntemin modifiye edilmesi ile belirlenmiştir. İlk olarak belirlenen optimum konsantrasyondaki NaCl çözeltisi ile %10’luk örnek dispersiyonu hazırlanmış ve ekstraksiyon için belirlenen optimum pH değerine ayarlanmıştır. Dispersiyon oda sıcaklığında 300 rpm hızla 2 saat süreyle çalkalanmıştır. Çalkalama sonrası örneklerin sıvı kısmından 6 adet sanrifüj tüpüne 10’ ar mL alınarak 0.5 birim değişim ile pH değerleri 3.5-6.0 arasına ayarlanmış ve 1’er dk vortekslenmiştir (WN-2800, Vortex, Weightlab, Türkiye). Örnekler 3000 x g 4 °C’de 20 dk santrifüjlenmiştir. Süpernatantların protein içeriği Bradford (1976) metodu ile belirlenerek, minimum protein içeriğinin belirlendiği pH değeri protein ekstraksiyonunu maksimize etmek için izoelektrik nokta (pI) olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.4. Susam protein izolasyonunda en uygun izoelektrik nokta (pI), tuz konsantrasyonları ve pH değerleri

Belirlenen en uygun tuz konsantrasyonu ve pH değerleri sırasıyla 0.6 M ve 7'dir (Şekil 3.4.). Bu değerleri kullanılarak 1:10 (w/v) oranında örnek süspansiyonu hazırlanmıştır. 35 °C'de 2 saat süreyle 300 rpm'de karıştırılmış ve süzme işlemi uygulanarak, çözünen proteinleri içeren süpernatant kısmı elde edilmiştir. Protein miktarı ve verimini arttırmak için kalan katı kısım yine aynı tuz çözeltisi ve pH kullanılarak karıştırılmış ve süpernatant süzme işlemi ile alınmıştır. Sonrasında örneklerin pH değerleri izoelektrik noktaya (pH 4, Şekil 3.4.) getirilip proteinlerin çökmesi sağlanmış ve 18 saat boyunca +4 °C'de bekletilmiştir. Çöken proteinleri alabilmek amacıyla 3000 x g'de 4 °C'de 30 dk santrifüjleme yapılarak süpernatant uzaklaştırılmıştır. Elde edilen çökeltileri yıkama yapmak için damıtılmış su kullanılmış, daha sonra nötralize etmek için pH 7'ye ayarlanmıştır. Elde edilen protein izolatları liyofilizatör cihazı (ScanVac Coolsafe 110-4 Pro, Denmark) ile kurutulmuş susam protein izolatu (SPI) elde edilmiştir ve analize alınincaya kadar -20 °C'de muhafaza edilmiştir. Protein verimi denklem 3.1'de ki gibi hesaplanmıştır (Achouri, vd., 2012);

$$\text{Protein verimi (\%)} = \frac{\text{SPI'nin ağırlığı (g)} \times \text{SPI'nin protein miktarı (\%)}}{\text{YS'nin ağırlığı (g)} \times \text{YS'nin protein miktarı (\%)}} \times 100 \quad (3.1)$$

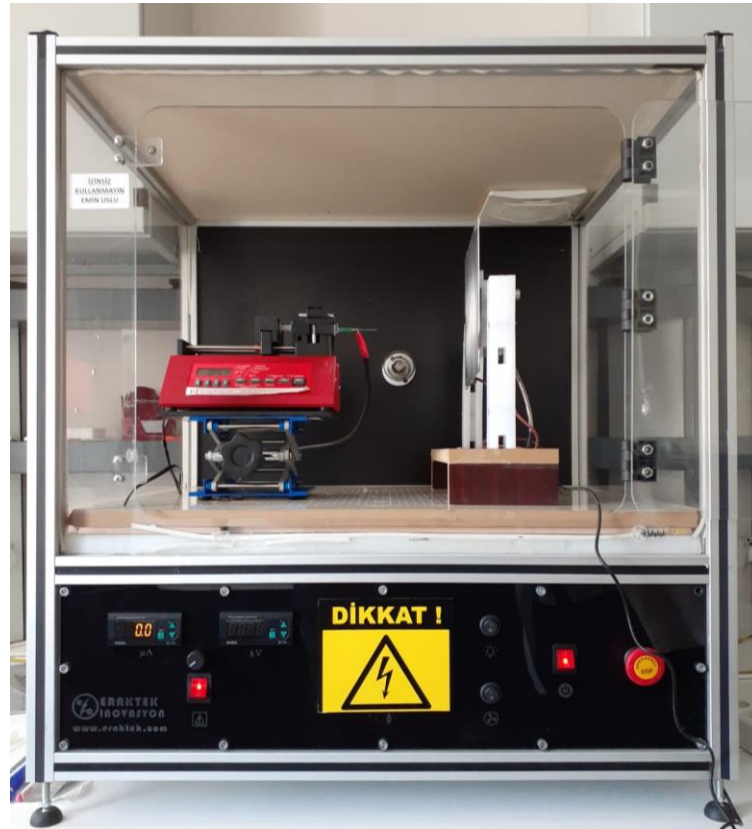
### 3.2.1.2. Elektrospinning Yöntemi ile Nanolif Üretimi

Literatürde lif oluşturuvcu çözeltilerin elektrospinning kabiliyetini arttırdığı, oldukça uygun morfolojilere ve diğer özelliklere sahip lifler ürettiği gerekçesiyle, ayrıca polivinil alkol'ün (PVA) biyolojik olarak çözülebilir ve biyolojik olarak uyumlu bir polimer olduğu bilindiğinden dolayı bu çalışmada PVA taşıyıcı polimer olarak kullanılmıştır (El Halal, vd., 2019).

Tahine ilave edilmesi için SPI içeren nanoliflerin üretimi gerçekleştirilmiştir. SPI içeren nanolifler SPINL olarak adlandırılmıştır. Tahine ilave edilecek uygun nanolif eldesi için öncelikle besleme çözeltisinde kullanılacak olan taşıyıcı polimer PVA'nın konsantrasyonu (w/v) ve belirlenen konsantrasyondaki PVA ile SPI'larının karışım oranları (w/v) yapılan ön denemeler ile belirlenmiştir. Bu oranlar besleme çözeltisinin viskozitesi ile elektriksel iletkenliği ve üretilen nanoliflerin yapısı değerlendirilerek belirlenmiştir (yapılan analizler Bölüm 3.2.2.2.'de açıklanmıştır). Ayrıca besleme çözeltisinde çözücü olarak deiyonize su kullanılmıştır.

Belirlenen koşullara göre ilk olarak elektrospinning yönteminde kullanılmak üzere PVA ve SPI'dan besleme çözeltilerinin hazırlanması gerçekleştirilmiştir.

Besleme çözeltisinin yüzey gerilimini azaltmak için çözeltiliye Tween 80 eklenmiştir. Bunun için önce %13 PVA (w/v) çözeltisi 85 °C'de 3 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılarak hazırlanmıştır. Daha sonra PVA çözeltisinin üzerine %2 SPI (w/v) ile 0.5 g Tween 80 ilave edilmiş ve karışımda homojenliği sağlayabilmek için 40 °C'de gece boyunca karıştırılmıştır. Elektrosinning işlemine, lif oluşturan çözeltilerin 0.8 mm'lik paslanmaz çelik bir iğne ile 5 mL'lik bir şırıngaya çekilmesi ile gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Sabit bir akış hızı sağlamak için bir elektronik şırınga pompası, gerilimin uygulanması için DC güç kaynağı ve topraklanmış bir paslanmaz çelik kollektör plakasına lifleri kolay çıkarabilmek için alüminyum folyo sarılarak kullanılmıştır. Elektrosinning cihazında kullanılan çalışma koşulları şartlandırılan şekilde (ön denemeler sonucu belirlenen çözeltinin akış hızı, voltaj, iğne ucu ile toplayıcı arasındaki mesafe, nem ve sıcaklık, sırasıyla 1.9 ml/saat, 27 kV, 11 cm, %35-40 ve 20-25 °C) kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan elektrosinning sistemi Şekil 3.5.'te gösterilmiştir. Ayrıca, aynı şartlar ve belirlenen oranlarda sadece PVA içeren nanoliflerde (PVANL olarak adlandırılmıştır) üretilerek, PVA'nın ve SPI'nın etkisini daha iyi ayırt edebilmek için pozitif kontrol grubu olarak tahinlere ilave edilmiştir.



Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan elektrosinning sistemi

### 3.2.1.3. Tahine Protein İzolatı ve Nanolif İlave Edilmesi

Fabrikada (Pro Gıda, Samsun) yeni üretilmiş tahin laboratuvara getirildikten sonra geniş bir behere aktarılmış ve kaşık yardımıyla karıştırılmıştır. Karıştırılan tahinler kavanozlara (50 mm x 80mm, 210 mL) 50'şer g olmak üzere dökülmüştür. Kavanozlardaki tahine ağırlıkça %1.0 ve %2.0 (w/w) oranlarında protein izolatı (SPI) ve nanolifler (SPINL) ilave edilmiştir. Katılma oranları daha önce sadece lif katarak yapılan çalışmada belirlenen en iyi sonuçları veren oranlar dikkate alınarak belirlenmiştir (Yetkin, 2019). Kontrol grubu olarak kullanılacak tahin örneklerine ise hiçbir katkı (%0) ilave edilmezken, pozitif kontrol grubu örneklere sadece PVA içeren nanolifler (%1) ilave edilmiştir. İlave edilen katkıların homojen dağılması amacıyla kavanozlar kapakları kapatılarak vorteks yardımıyla 2000-3000 rpm'de 30-40 saniye karıştırılmıştır. Daha sonra oda sıcaklığında bekletilerek Evlogimenou vd. (2017) ile Yetkin (2019) yaptığı çalışmalarda belirledikleri ve ilk 2 ayda yağ ayrışmasının çoğunlukla gerçekleştiği belirtildiği için bu çalışmada da 3 aylık depolama süresi seçilmiştir. Karar verilen belirli zaman aralıklarında (0. gün, 30. gün, 60. gün ve 90. gün) hedeflenen analizler yapılmıştır. Tablo 3.1.'de katkı ilavesinden sonraki deneme planı gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Katkı ilavesinden sonraki deneme planı

Muamele	Katkı oranı	Tekerrür	Örnek Kodu			
			0. gün	30. gün	60. gün	90. gün
Kontrol	%0	I	0-K1	30-K1	60-K1	90-K1
		II	0-K2	30-K2	60-K2	90-K2
SPI	%1	I	0-P1-1	30-P1-1	60-P1-1	90-P1-1
		II	0-P1-2	30-P1-2	60-P1-2	90-P1-2
	%2	I	0-P2-1	30-P2-1	60-P2-1	90-P2-1
		II	0-P2-2	30-P2-2	60-P2-2	90-P2-2
SPINL	%1	I	0-N1-1	30-N1-1	60-N1-1	90-N1-1
		II	0-N1-2	30-N1-2	60-N1-2	90-N1-2
	%2	I	0-N2-1	30-N2-1	60-N2-1	90-N2-1
		II	0-N2-2	30-N2-2	60-N2-2	90-N2-2
Pozitif Kontrol (PVA nanolifi)	%1	I	0-PK1	30-PK1	60-PK1	90-PK1
		II	0-PK2	30-PK2	60-PK2	90-PK2

K: Kontrol, P: Protein, N: Nanolif, PK: Pozitif Kontrol

### 3.2.2. Analiz Yöntemleri

#### 3.2.2.1. Susam, Yağsız Susam, Susam Protein İzolatı ve Tahinin pH ile Bileşim Analizleri

##### 3.2.2.1.1. pH Analizi

Susam, yağsız susam, SPI ve tahin örneklerinin pH değerleri, 10 g örneğe 100 mL saf su eklenerek homojenize edildikten sonra pH-metre (Starter 2100, OHAUS)

kullanılarak okuma işlemi yapılmış ve pH değerleri belirlenmiştir. pH metre kullanılmadan önce kalibre edilmesi için uygun tampon çözeltiler (pH 4.0, pH 7.0 ve pH 10.0) kullanılmıştır (AOAC, 2000).

#### **3.2.2.1.2. Su İçeriğinin Belirlenmesi**

Örneklerin su içeriklerini belirlemek için kurutma kaplarına yaklaşık 5 g örnek tartılmış ve 105 °C etüvde sabit tartım sağlanana kadar (yaklaşık 18 saat) kurutulmuştur (AOAC, 2000).

#### **3.2.2.1.3. Protein İçeriğinin Belirlenmesi**

Örneklerin ham protein içeriğini belirlemek için Kjeldahl yöntemi kullanılmıştır. Bunun için önce toplam azot miktarı belirlenmiş, daha sonra sabit faktör (6.25) ile çarpılarak protein miktarı belirlenmiştir (AOAC, 2000).

#### **3.2.2.1.4. Yağ İçeriğinin Belirlenmesi**

Örneklerin ham yağ içeriğini belirlemek için eter ekstraksiyon yöntemi kullanılmıştır. Bunun için kurutulan örneklerden 5 g ekstraksiyon kartuşuna tartılmış ve kartuşun ağzı yağsız pamukla kapatıldıktan sonra ekstraktöre yerleştirilerek dietil eter çözeltisi ile soksilet ekstraksiyon sisteminde 8 saat boyunca ekstrakte edilmiştir (AOAC, 2000).

#### **3.2.2.1.5. Kül İçeriğinin Belirlenmesi**

Susam, yağsız susam ve tahin örneklerinin kül miktarı yakma yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir. Bunun için porselen krozelerin darası alınmış ve 3g civarında örnek tartılmıştır. Daha sonra siyah lekeler kalmayınca kadar 550 °C sıcaklıkta yakılmıştır. Krozeler desikatör kullanarak soğutulduktan sonra tartılmış ve kül miktarı hesaplanmıştır (AOAC, 2000).

#### **3.2.2.1.6. Zeta Potansiyelinin Belirlenmesi**

Örneklerin zeta potansiyeli Atatürk Üniversitesi Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (DAYTAM) hizmet alımı ile gerçekleştirilmiştir. Örnek çözeltilerinin zeta potansiyelleri elektroforetik hareketi prensibi ile çalışan Malvern Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments, Malvern, İngiltere) kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla, SPI için deiyonize su ile %0.05 (w/v) protein solüsyonu hazırlanmış ve 1 N HCl veya 1 N NaOH ile pH (2-11) istenilen değere ayarlanmıştır. Susam ve YS için deiyonize su ile %0.1 (w/v) örnek

dispersiyonları hazırlanmış ve pH 7'ye 1 N HCl veya 1 N NaOH ile ayarlanmıştır. Her numunenin 3 kere ölçümleri alınmıştır.

#### **3.2.2.1.7. Hidrodinamik Çapların Belirlenmesi**

Örneklerin hidrodinamik boyutu ise zeta potansiyelinin ölçüldüğü aynı ekipmanla ve eş zamanlı olarak dinamik ışık dağılımı prensibine göre ölçülmüştür (kırılma indeksleri: sırasıyla su ve susam için 1.330 ve 1.476). Her numunenin 3 kere ölçümleri alınmıştır.

#### **3.2.2.1.8. Susam Protein İzolatının Amino Asit Analizi**

Protein izolatının amino asit kompozisyonunun belirlenmesi Sinop Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (SÜBİTAM) hizmet alımı ile gerçekleştirilmiştir. Susam protein izolatının amino asit bileşimi Bilgin vd. (2019) yöntemi kullanılarak LC-MS/MS cihazında (Agilent Infinity 1260 HPLC system, Agilent Technologies, ABD) belirlenmiştir. Amino asit konsantrasyonlarının ölçümü için, mobil fazlar, standartları bulunduran kalibratör seti, reaktifler, kararlı izotop etiketli iç standart karışımı, kromatografik ve kütle tespit parametreleri ile asidik hidroliz prosesinin de bulunduğu modifiye numune hazırlama prosedürünü içeren Jasem LC-MS/MS amino asit analiz kiti (Sem Laboratuar Cihazları Pazarlama San. ve Tic. Inc., Türkiye) kullanılmıştır. Elektrosprey iyonizasyonu (ESI) temelli çoklu reaksiyon izleme (MRM) modu kullanılarak hedef amino asitlerin konsantrasyonu belirlenmiştir.

Örneklerin hidrolizi: 0.1 g numune vidalı kapaklı bir cam tüp içine konulmuş üzerine 4 ml asidik hidroliz reaktifi eklenmiş ve 110 °C'de 24 saat süresince hidrolize edilmiştir. Hidrolizatın sıcaklığı oda sıcaklığına düştüğünde 4000 rpm'de 5 dakika santrifüjlenmiştir. Sonrasında 100 µL süpernatant bir vialde alınıp distile suyla 1 mL'ye tamamlanmıştır. Bu seyreltme işlemi bir kez daha tekrarlanarak, örneğin 4000 kat seyreltilmiş hidrolizatı elde edilmiştir.

Hidroliz işlemini takiben kit örnek hazırlığı: bir vialde önce 50 µL seyreltilmiş hidrolizattan alınmış ve üzerine sırasıyla, 50 µL kararlı izotop etiketli iç standart karışımı ile 700 µL reaktif-1 eklenmiştir. Daha sonra vial vortekslenmiştir. Tüm örnekler belirtilen prosedürlere göre hazırlanarak LC-MS/MS sistemine enjekte edilmiştir. Beş farklı konsantrasyona sahip kalibrasyon setinin hidroliz prosesi

uygulanmadan sadece kit örnek hazırlığı prosedürünce hazırlanması ve LC-MS/MS sisteminde okutulmasıyla kalibrasyon eğrisi elde edilmiştir.

Kolon sıcaklığı 30 °C'ye ayarlanmış Jasem amino asit kolonuna, hazırlanmış örnekten 3 µL enjekte edilmiştir. Akış hızı 0.7 mL/dk gradient programlı mobil faz A ve B ile 7.5 dakikalık analiz süresinde kromatografi ayırım tamamlanmıştır. Pozitif iyonlaşma modunda ESI donanımlı tandem kütle spektrometresi cihazıyla kütle spektrometrik dedeksiyonu gerçekleştirilmiştir. Kütle dedektörü parametreleri: nebulizer basıncı 40 psi, 10 L/dk gaz akışı, 150 °C gaz sıcaklığı ve kapiler voltaj +2000 volt.

### **3.2.2.2. Nanolif Üretiminde Kullanılan Besleme Çözeltilerinin Analizleri**

#### **3.2.2.2.1. Elektriksel İletkenlik Ölçümü**

Besleme çözeltilerinin elektriksel iletkenlikleri portatif bir kondüktometre (Starter 2100, OHAUS) ile oda sıcaklığında iki kez ölçülmüş ve µS/cm birimlerinde ifade edilmiştir.

#### **3.2.2.2.2. Viskozite Ölçümü**

Besleme çözeltilerinin viskozitesi, bir viskozimetre (Smart H, Fungilab) ile oda sıcaklığında en az iki kez ölçülmüştür. Ölçümler 60 rpm'lik bir mil hızında yapılmıştır (Wang, vd., 2017).

### **3.2.2.3. Protein İzolatının Fonksiyonel Analizleri**

#### **3.2.2.3.1. Çözünürlük**

Protein izolatlarının yüzde çözünürlükleri pH'ın (2–11) bir fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Kısaca, 100 mg protein izolatu 20 mL distile su içinde dağıtılmıştır. Süspansiyonların pH'ı, 1 N HCl veya 1 N NaOH kullanılarak istenen değere ayarlanmıştır. Süspansiyonlar, ortam sıcaklığında 1 saat manyetik karıştırıcıyla karıştırılmış, daha sonra oda sıcaklığında 3000 x g'de 30 dakika santrifüj yapılmıştır (Ghribi, vd., 2015). Santrifüj sonrasında üstte kalan fazda Bradford metodu kullanılarak protein analizi yapılmıştır. Bu amaçla üstte kalan fazdan 0.1 mL alınmış ve 3 mL Bradford reaktifine katılmıştır. 5 dakika sonra karışımın absorbanansı 595 nm dalga boyunda spektrofotometrede (T80+, PG Instruments Limited, Birleşik Krallık) okunmuştur. Protein miktarının hesaplanmasında sığır serum albümini standart eğrisinden yararlanılmıştır. Çözünürlük aşağıdaki denklem (3.2) ile hesaplanmıştır:

$$\text{Çözünürlük (\%)} = \frac{\text{Süpernatantın protein içeriği}}{\text{Örneğin toplam protein içeriği}} \times 100 \quad (3.2)$$

### 3.2.2.3.2. Su ve Yağ Tutma Kapasitesi

Su (STK) ve yağ tutma kapasitelerini (YTK) belirlemek için, yaklaşık 50 mg protein izolatu 2 mL'lik bir santrifüj tüpünde 1.5 mL damıtılmış su veya ticari mısırozü yağı eklenerek disperse edildi ve bir vorteksle oda sıcaklığında 20 saniye karıştırıldı. Karıştırıldıktan sonra tüplerin kapakları kapatıldı ve tüpler oda sıcaklığında 30 dakika bekletildi. Tüpler daha sonra 14.000 g'de 20 dakika süreyle santrifüjlendi ve Süpernatant dikkatlice 45° açıyla boşaltıldı ve tortuyu içeren santrifüj tüpü tartıldı. Tutulan su veya yağ içeriği, tortuyu içeren tüplerin tartılmasıyla belirlendi. STK ve YTK, sırasıyla g protein izolatu başına emilen g su veya yağ olarak ifade edildi. Testler, protein numunelerinin her biri için iki kez tekrarlandı. STK ve YTK, aşağıdaki denklem (3.3) kullanılarak hesaplandı:

$$\text{STK or YTK} = \frac{M_2 - M_1}{M_0} \quad (3.3)$$

$M_1$  kuru numuneyi içeren santrifüj tüpünün ağırlığıdır,  $M_2$  yağ veya suyun dökülmesinden sonra santrifüj tüpünün ağırlığı ve  $M_0$  numunenin ağırlığıdır (Aydemir ve Yemenicioğlu, 2013; Gundogan ve Can Karaca, 2020).

### 3.2.2.3.3. Emülsiyon Özellikleri

0.25 g protein izolatu tartılıp, üstüne 5 mL distile su eklenmiştir ve pH değeri 7.0'ye 1 N HCl veya 1 N NaOH kullanılarak ayarlanmıştır. Protein solüsyonuna 5 mL mısırozü yağı ilave edilerek 1 dakika vortekslenmiştir. Daha sonra 1100 x g'de 5 dakika santrifüj edilerek emülsiyon kapasitesi (EK) aşağıdaki denklem ile belirlenmiştir. Emülsiyon stabilitesinin (ES) belirlenmesi amacıyla numuneler su banyosunda (80 °C) 30 dakika ısıtılarak ve sonrasında buz kullanılarak ve akan su altında hızlıca soğutulmuştur. Numuneler tekrar 2291 x g'de 5 dakika santrifüjlenmiş ve emülsiyon stabilitesi aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır (Mune ve Sogi, 2016):

$$\text{EK (\%)} = \frac{\text{Tüpteki emülsiyon tabakasının yüksekliği}}{\text{Tüp içeriğinin toplam yüksekliği}} \times 100 \quad (3.4)$$

$$\text{ES (\%)} = \frac{\text{Isıtıldıktan sonra emülsifiye tabakanın yüksekliği}}{\text{Isıtmadan önce emülsifiye tabakanın yüksekliği}} \times 100 \quad (3.5)$$

Numunelerin emülsiyon aktivite indeksi (EAI) ve emülsiyon stabilite indeksi (ESI) Pearce ve Kinsella (1978) tarafından geliştirilen yöntemle göre belirlenmiştir. Bu amaçla 300 mg protein izolatu örneği 30 mL saf su ile karıştırılmış (%1'lik protein

dispersiyonu) ve daha sonra bu karışımın üzerine 10 mL mısırözü yağı ilave edilmiştir. Karışımın pH'sı 1 N HCl veya 1 N NaOH ile 7' ye ayarlanarak homojenizatör (Ultra-Turrax T25 digital, IKA, Almanya) ile 20000 rpm'de 1 dakika süreyle homojenize edilmiştir. Emülsiyon oluştuktan hemen sonra emülsiyonun alt kısmından (sıvı fazdan) 50 µL emülsiyon örneği bir tüp içerisine alınarak üzerine 5 mL %0.1'lik (w/v) sodyum dodesil sülfat (SDS) çözeltisi ilave edilerek seyreltilmiştir ve bu karışımın spektrofotometrede 500 nm dalga boyundaki absorbansı ölçülerek emülsiyon aktivitesinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır:

$$EAI (m^2/g) = \frac{2 \times 2.303 \times A_0 \times N}{c \times \phi \times 10000} \quad (3.6)$$

Burada,  $A_0$  0. dakikadaki absorbans,  $N$  seyreltme faktörü (100),  $c$  protein dispersiyonunun konsantrasyonu (0.01 g/mL),  $\phi$  yağın hacimsel fraksiyonudur (10/40=0.25).

Örneklerin ESİ değerleri, emülsiyonun 10 dakika bekletilmesinden sonra sıvı fazdan (alt kısmından) alınan 50 µL örneğin 5 mL %0.1'lik (w/v) SDS ile seyreltilmesi ve 500 nm'de absorbansının okunmasıyla elde edilen absorbans aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır:

$$ESI (dak) = \frac{A_0 \times t}{A_0 - A_{10}} \quad (3.7)$$

Burada,  $A_{10}$  homojenizasyon işleminden 10 dakika sonraki absorbans,  $t$  emülsiyonun bekleme süresidir (10 dakika).

#### 3.2.2.3.4. Köpüklenme Özellikleri

Numunenin damıtılmış suda % 3 (w/v) dispersiyonları hazırlanıp 1 N HCl veya 1 N NaOH kullanılarak pH 7'ye ayarlanmış ardından karışım bir homojenleştirici (Ultra-Turrax) kullanılarak 11000 rpm'de 2 dakika boyunca homojenize edilmiştir. Karışım hemen 100 mL'lik bir dereceli silindire aktarılmıştır. Toplam hacim ve sıvı hacimleri kaydedilerek ve köpüklenme kapasitesi (KK) ile oda sıcaklığında 10 ve 30 dakika bekletme sonucunda kalan köpüğün hacmi kaydedilerek köpük stabilitesi (KS) aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanmıştır (Gundogan ve Can Karaca, 2020):

$$KK (\%) = \frac{V_1 - V_0}{V_0} \times 100 \quad (3.8)$$

$$KS (\%) = \frac{V_2}{V_1} \times 100 \quad (3.9)$$

Burada  $V_0$  homojenizasyon öncesi protein çözeltisinin hacmi,  $V_1$  homojenizasyondan hemen sonra oluşan köpük hacmi,  $V_2$  ise oda sıcaklığında 10 ve 30 dakika bekletildikten sonra kalan köpük hacmidir.

#### **3.2.2.4. Protein İzolatının ve Nanoliflerin Karakterizasyonu**

Örneklerin karakterizasyon analizlerinin tamamı Ondokuz Mayıs Üniversitesi Karadeniz İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde (KİTAM) hizmet alımı ile gerçekleştirilmiştir.

##### **3.2.2.4.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)**

Örneklerin yüzey morfolojisi, 10 kV'luk voltaj ivmesinde bir taramalı elektron mikroskobu (SEM, JSM-700 LF JEOL, Japonya) ile belirlenmiştir. Numunelerin elektriksel iletkenliğini arttırmak ve daha net bir görüntü elde etmek için numunelerin yüzeyi, ölçümden önce 10 nm kalınlığında altın-paladyum alaşımı (Quorum SC7620, UK) ile kaplanmıştır. SEM görüntüleri üç farklı büyütme ( $\times 5000$ ,  $\times 10000$  ve  $\times 30000$ ) ile görüntülenmiştir. Ayrıca ImageJ programı kullanılarak görüntüler üzerinden 100 farklı noktadan nanolif çaplarının ölçümü yapılarak çap dağılım grafikleri oluşturulmuştur.

##### **3.2.2.4.2. X-ışını Kırınımı (XRD)**

Örneklerin kristalinitesini araştırmak için XRD analizi (Rigaku Smartlab, Almanya) gerçekleştirilmiştir. Analiz koşulları; oda sıcaklığı,  $5-40^\circ$  arasında,  $1^\circ/\text{dk}$  tarama oranı, 40 kV güç, 30 mA akım ve Cu  $K\alpha$  radyasyon şeklinde olmuştur (Saatchi, vd., 2021).

##### **3.2.2.4.3. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)**

Örneklerin fonksiyonel gruplarını belirleyip, aralarındaki etkileşimleri araştırmak için fourier transforme edilmiş kızılötesi (FTIR) spektroskopisi kullanılmıştır. Susam proteini izolatlarının ikincil yapısı, Platinum ATR donanımlı bir FTIR Tensor 27 spektrofotometre (Bruker Optics Inc., ABD) kullanılarak belirlenmiştir. Ölçümler  $400\text{ cm}^{-1}$  ile  $4000\text{ cm}^{-1}$  dalga boyu aralığında gerçekleştirilmiştir.

##### **3.2.2.4.4. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC)**

Örneklerin termal özellikleri diferansiyel taramalı kalorimetri (DSCQ2000, TA Instruments, ABD) ile belirlenmiştir. Yaklaşık 10 mg örnek alüminyum kaplara tartıldı

ve hava geçirmez şekilde kapatılmıştır. Numune azot atmosferi altında, 30 mL/dak akış hızında, 10 °C/dk ısıtma hızında 25 ila 400 °C arasında ısıtılarak analiz edilmiştir (Wang, vd., 2017). Referans olarak boş bir alüminyum pan kullanılmıştır. Örneklerin başlangıç sıcaklığı (T<sub>0</sub>), pik tepe sıcaklığı (T<sub>p</sub>) ve reaksiyon entalpisi (ΔH) Universal Analysis 2000, versiyon 4.5A yazılımı (TA Instruments, ABD) kullanılarak belirlenmiştir.

#### **3.2.2.4.5. Termogravimetrik Analiz (TGA)**

Örneklerin ısıl kararlılığı termogravimetri (Q600 SDT, TA Instruments, ABD) kullanılarak değerlendirilmiştir. Yaklaşık 10 mg örnek platin kaplara tartılmış, analiz 10 °C/dak artış olacak şekilde 30-600 °C arasında, 50 ml/dk akış oranında ve azot gazı altında gerçekleştirilmiştir, referans olarak boş bir platin kapsül kullanılmıştır (El Halal, vd., 2019). Universal Analysis 2000, versiyon 4.5A yazılımı (TA Instruments, ABD) kullanılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

#### **3.2.2.5. Tahinde Depolama Analizleri**

##### **3.2.2.5.1. Ayrılan Yağ Miktarının Belirlenmesi**

Depolanmış tahin örneklerinde ayrılan yağ miktarının belirlenmesi amacıyla üst yüzeyde biriken yağ şırınga ile çekilerek ağırlığı (g) tartılıp kaydedilmiştir. Tahin miktarı ağırlığına göre ayrılan yağ miktarı % olarak (denklem 3.10) hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Ayrılan Yağ} = \frac{\text{A.Y miktarı (g)} \times 100}{\text{Örnek miktarı (g)}} \quad (3.10)$$

Kontrol grubu örneklerine göre katkılı örneklerde katkı ilavesinin etkisini tespit edebilmek için % ayrılan yağa etki oranı denklem 3.11'e göre belirlenmiştir.

$$\% \text{ Ayrılan Yağa Etki} = \frac{(\text{Kontrol \% A.Y.} - \text{Örnek \% A.Y.}) \times 100}{\text{Kontrol \% A.Y.}} \quad (3.11)$$

##### **3.2.2.5.2. Reolojik Analizler**

Örneklerin reolojik özelliklerinin belirlenmesinde 2° konik açılı ve 35 mm çaplı, konik-düzlem geometriye sahip HAAKE Mars III (Thermo Scientific, Almanya) reometre cihazı kullanılmıştır. Tüm reolojik ölçümler 25 °C sıcaklıkta ve 0.1 mm'lik bir ölçüm mesafesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tahin numuneleri homojen olarak karıştırılmış ve reometrenin kalibrasyonundan sonra plakalara yerleştirilmiştir. Verilerin değerlendirmesinde HAAKE RheoWin Data Manager 4.87.0015 yazılımı kullanılmıştır.

Steady shear akış davranış özelliklerinin belirlenmesi: Görünür viskozite ( $\eta_a$ ) ve gerilmedeki değişiklikleri araştırmak için  $0.1 \text{ s}^{-1}$  -  $200 \text{ s}^{-1}$  kayma hızı aralığında analize tabi tutulmuştur. Elde edilen dataların kıvam katsayısı (K), akış davranış indeksi (n) ve korelasyon katsayısını ( $R^2$ ) belirlemek amacıyla Ostwald de Waele modeli kullanılmıştır:

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (3.12)$$

Burada,  $\tau$  kayma gerilimi (Pa), K kıvam katsayısı ( $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ ),  $\dot{\gamma}$  kayma veya kesme hızı ( $\text{s}^{-1}$ ), n akış davranış indeksidir.

Görünür viskozite, Newton olmayan bir sıvının viskozitesi olarak tanımlanmaktadır. Newton tipi bir akışkanda akış hızı, kesme gerilimi ile doğru orantılı olduğundan ve eğri orijinden başladığından, viskoziteyi belirlemek için tek noktalı bir ölçüm yeterlidir (Bourne, 2002). Newton olmayan bir sıvının viskozitesi ise elde edilen verilerin ekstrapolasyonu ile bulunur. Burada görünür viskoziteyi hesaplamak için ağızdaki kayma hızı olarak kabul gören  $50 \text{ s}^{-1}$  kesme hızı (Bourne, 2002) kullanılarak görünür viskozite hesaplanmıştır.

Dynamic shear akış davranış özelliklerinin belirlenmesi: Örneklerin viskoelastik davranışını incelemek için tahinlere önce stress sweep testi ardından da frequency sweep testi uygulanmıştır.

Stres sweep testi analizi tahine  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de,  $0.1$ - $10 \text{ Pa}$  aralığında ve sabit  $0.1 \text{ Hz}$  frekansta strese maruz bırakılmış ve örnekte meydana gelen deformasyon incelenmiştir. Böylelikle tahinin lineer viskoelastik bölgesi belirlenmiş ve frequency sweep (frekans süpürmesi) testinin gerçekleştirileceği basınç (strain) tespit edilmiştir.

Frekanslı tarama testinde, frekansa (f) karşı depolama ( $G'$ ) ve kayıp ( $G''$ ) modülleri tarama gerilimi  $0.2 \text{ Pa}$  (lineer viskoelastik aralıkta) ve tarama frekansı  $0.1$ - $10 \text{ Hz}$  aralığında uygulanarak belirlenmiştir.

### **3.2.2.5.3. pH Analizi**

Tahin örneklerinin pH değerleri Bölüm 3.2.2.1.1.' de anlatılan şekilde belirlenmiştir.

### **3.2.2.5.4. Zeta Potansiyelinin Belirlenmesi**

Örneklerin zeta potansiyeli Atatürk Üniversitesi Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (DAYTAM) hizmet alımı ile Malvern

Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments, Malvern, İngiltere) kullanılarak belirlenmiştir. Tahin örnekleri için deiyonize su ile %0.1 (w/v) örnek dispersiyonları hazırlanmıştır ve daha sonra her numunenin 3 kere ölçümü alınarak zeta potansiyelleri belirlenmiştir.

#### **3.2.2.5.5. Hidrodinamik Çapların Belirlenmesi**

Örneklerin hidrodinamik boyutu ise zeta potansiyelinin ölçüldüğü aynı ekipmanla ve eş zamanlı olarak ölçülmüştür (kırılma indeksleri: sırasıyla su ve tahin için 1.330 ve 1.457). Her numunenin 3 kere ölçümü alınmıştır.

#### **3.2.2.6. İstatistiksel Analizler**

Verileri değerlendirmek amacıyla sonuçlar SPSS Statistics 26.0 (IBM, New York, USA) programı kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Gruplar arasında belirli bir değişkene bağlı olarak anlamlı bir farklılık olup olmadığını belirlemek amacıyla çok faktörlü varyans analizi (Univariate-ANOVA) gerçekleştirilmiştir. Anlamlı fark bulunduğu zaman bu farkın hangi gruplar arasındaki farktan kaynaklandığını belirlemek amacıyla Duncan testi (Post-hoc analizi) uygulanmıştır. Bu analizlerde %95 güven seviyesi ( $p < 0.05$ ) dikkate alınmıştır.

İncelenen özelliklerin aralarındaki ilişkinin yön ve büyüklüğünün belirlenmesinde Pearson korelasyon analizi kullanılmıştır. Korelasyon analizinde %95 ve %99 güven seviyeleri ( $p < 0.05$ ;  $p < 0.01$ ) dikkate alınmıştır.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Susam, Yağsız Susam, Susam Protein İzolatı ve Tahinin pH ile Bileşim Analizleri

Mevcut çalışmada hammadde olarak kullanılan susam, yağsız susam, susam protein izolatu ve tahinin pH, su, yağ, protein, kül, zeta potansiyeli ve hidrodinamik çap analizleri, SPI’da ise bu analizlere ek olarak izolat üretimindeki ekstraksiyon verimi hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.1.’de verilmiştir. SPI’da ise farklı pH değerlerinin zeta potansiyeline etkisini inceleyebilmek amacıyla pH 2-11 aralığında zeta potansiyelleri ölçülmüş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Susam, yağsız susam, susam protein izolatu ve tahinin pH ile bileşim analizleri, zeta potansiyeli ve hidrodinamik çap değerleri ile protein ekstraksiyon verimi

	Susam tohumu	Yağsız susam tohumu	Protein izolatu	Tahin
Su (%)	2.68±0.01	2.14±0.22	1.26±0.06	0.87±0.11
Protein (%)	25.55±0.14	57.37±0.23	88.98±0.13	25.52±0.99
Yağ (%)	56.83±0.45	6.64±0.18	0.82±0.25	53.63±0.85
Kül (%)	2.96±0.02	5.94±0.25	-	2.94±0.01
pH	6.41±0.03	6.23±0.01	6.98±0.19	5.77±0.02
Zeta potansiyeli (mV)	-23.53±0.45	-17.30±1.28	-14.20±1.01	-17.70±0.21
Hidrodinamik çap (µm)	2.64±0.49	3.02±0.98	0.33±0.05	7.56±0.31
Protein ekstraksiyon verimi (%)	-	-	43.76	-

Sonuçlar ortalama değer ± standart sapmadır

Tablodan görüldüğü gibi susam tohumunun su miktarı % 2.68, protein miktarı %25.55, yağ miktarı 56.83, kül miktarı %2.96, pH değeri 6.41, zeta potansiyeli -23.53 mV ve hidrodinamik çapı 2.64 µm olarak tespit edilmiştir. Sonuçlar Achouri vd. (2012), Elleuch vd. (2007) ve Hassan (2012) tarafından bulunan değerlerle benzerlik göstermiştir. Susam tohumundan yağının uzaklaştırılmasıyla oransal olarak protein ve kül miktarı artış gösterirken, yağ ve su miktarı azalmıştır ve yağsız susamın su, protein, yağ ve kül miktarı sırasıyla %2.14, %57.37, %6.64 ve %5.94 olarak belirlenmiştir. Yağı uzaklaştırılmış susam tohumlarının zeta potansiyeli -17.30 mV olarak belirlenirken, hidrodinamik çap değeri ise 3.02 µm olarak tespit edilmiştir. Yağ uzaklaştırma ile bileşimde hidroksil gruplarının azalması pH değerini ve zeta

potansiyelini de değiştirmiştir. Hidrodinamik ap değerindeki artışın nedeninin ise yaę uzaklaştırma aşamasının sonunda tohumların topaklaşmasının neden olduğu dūřünülmektedir.

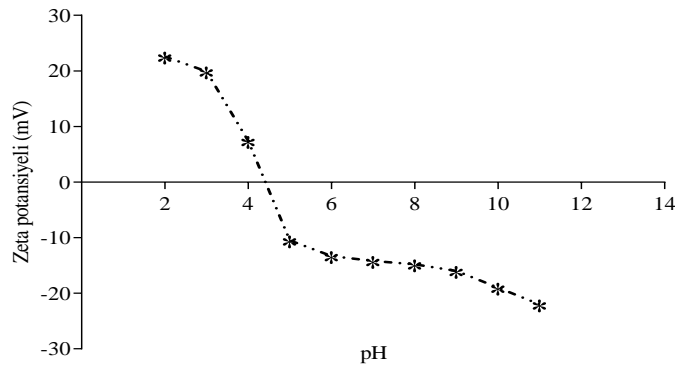
Susam protein izolatının çalışmada kullanılan ekstraksiyon koşullarına göre protein ekstraksiyon verimi %43.76 olarak belirlenmiştir. Achouri vd. (2012) farklı yöntemlerle elde ettiği susam protin izolatlarında ekstraksiyon verimlerini %1.17-54.60 arasında değişen değerlerde tespit etmişlerdir. Susam tohumu protein fraksiyonlarının, tuz çözeltisinin eklenmesiyle proteinlerin etrafında çözünmeyi iyileştiren bir yüzey tabakasının oluşması nedeniyle daha iyi çözünürlüğe sahip olduğu bildirilmektedir (Koysuren, vd., 2021). Ayrıca, pH'nın albümin proteinlerinin ekstraksiyonunu önemli lde etkilediğinin, iyonik kuvvetlerin ise globulin fraksiyonlarının ekstraksiyonu üzerinde pH'dan daha baskın bir etkiye sahip olduğu bildirilmektedir (Albe Slabi, vd., 2020; Koysuren, vd., 2021).

SPI'nın protein miktarı %88.98 olarak tespit edilmiştir. Böylece, Fathi vd. (2019) tarafından belirtildiği şekilde izole edilmiş susam proteininin protein içeriği %80'den fazla çıkmıştır ve bu nedenle "izolat" kelimesinin seçilmesi doğru olmaktadır. SPI'nın su ve yağ miktarı sırasıyla %1.26 ve %0.82 olarak belirlenirken, kül miktarı protein izolasyonu sırasında kullanılan NaCl zeltisinin kl içeriğini fazla oranda artırdığından dolayı tespit edilememiştir. SPI' ya ait bu değerler literatürdeki diğer çalışmalarla benzerlik göstermiştir (Gandhi ve Srivastava, 2007; Lpez, vd., 2003; Saatchi, vd., 2019).

Susam tohumu, yağsız susam (YS) ve SPI'nın pH değerleri sırasıyla 6.41, 6.23 ve 6.98 olarak tespit edilmiştir. Susam tohumu ve YS arasında pH olarak kayda değer bir değişim gözlenmemiştir. SPI'da ise kk bir artış olmuştur. Bunun nedeni olarak analiz esnasında suda çözünme ile bazik amino asitlerin ortamın pH'sını yükseltmesi dūřünülmektedir. Ayrıca, susam ve ürünlerinde, pH üzerine çok fazla çalışma olmadığı gözlenmiştir. SPI'nın hidrodinamik çapı ise 0.33 m olarak tespit edilmiştir. SPI'nın hidrodinamik çapının susam tohumu ve yağsız susama göre olduğa azalmasına, izolasyonun son aşamasında dondurarak kurutma işleminin sebep olabileceği dūřünülmektedir. Ayrıca susam ve YS su içerisinde güçlü hidrofobik etkileşimler yoluyla daha büyük agregalar oluşturmuş olabilir. Bu değerler literatürde bildirilenlere benzerdir. Rahmati vd. (2018) fasülye protein izolatlarında pH 7'de hidrodinamik boyutları 100-200 nm arasında tespit etmişlerdir. Mozafarpour vd.

(2019) soya proteini izolatlarının hidrodinamik yarıçaplarını 0.32-0.68  $\mu\text{m}$  aralığında olduğunu bildirmişlerdir.

pH, özellikle sulu dispersiyonlarda zeta potansiyeli ölçümlerinde belki de en etkili parametredir ve bu da onu farmasötik formülasyonlar için uygun kılmaktadır. Zeta değeri, pH ile değişir ve sırasıyla asidik ve bazik pH ile büyüklük olarak daha pozitif ve negatif hale gelmektedir. Bu nedenle, zeta potansiyelinin farklı pH değerlerine karşı bir eğrisi oluşturulur ve bu izoelektrik noktanın, yani zeta değerinin sıfır olduğu pH'nın belirlenmesine yardımcı olur (Bhattacharjee, 2016). Şekil 4.1 incelendiğinde SPI'nın sulu çözeltisinin nötr bir yüke sahip olduğu pH 4-5 aralığı, SPI'nın izolasyonunda çöktürme için belirlenen izoelektrik nokta pH 4'ü kapsadığı görülmüştür. Ayrıca, örnekler pH ile benzer zeta potansiyeli profilleri sergilemiştir. pH 11'den 2'ye düşerken, zeta değerleri de kademeli olarak en düşük negatif değerden en yüksek pozitif değere değişmiştir. Bu durum, karboksil gruplarının kademeli protonlanması ve proteinlerin amino gruplarının protonlaşmasının bir sonucu olarak, yüzey yükünün negatiften pozitifte kademeli olarak değişebileceği gerçeğiyle uyumaktadır (Tang ve Sun, 2011).



Şekil 4.1. pH'nın susam protein izolatının zeta potansiyeline etkisi

Susam protein izolatlarının amino asit bileşimi Tablo 4.2.'de gösterilmiştir. Glutamik asit, arginin ve aspartik asit (sırasıyla 17.78, 11.86 ve 6.92 g/100 g), daha önce bildirilen susam proteinlerine benzer şekilde izolatta baskın amino asitlerdir (Fasuan, vd., 2018b; Lawal, vd., 2021; Lu, vd., 2021; Saatchi, vd., 2021; Yang, vd., 2021). En bol bulunan esansiyel amino asit lösin'dir (5.68 g/100 g). Lawal vd. (2021) ve Yang vd. (2021) en yüksek amino asit olarak lösin içeren örnekleri ile benzer gözlemler yapmışlardır. Ek olarak SPI, diğer bitki proteinlerinde nadir olarak bulunan, başta metiyonin olmak üzere kükürtlü amino asitler içermektedir. Bununla birlikte,

metiyonin içeriği, sisteinden daha yüksektir. Sonuçları destekleyen Fasuan vd. (2018b) ve Saatchi vd. (2021) susam protein izolatlarında metiyonin içeriklerini sisteine göre daha yüksek olduğunu bulmuşlardır.

SPI'nın asidik karaktere sahip bir protein olmasının sebebi asidik/bazik amino asit oranının yüksek olmasıdır. Yüksek miktarlarda asidik amino asitlere (glutamik ve aspartik asitler) sahip olması proteinin pI'sini asidik pH bölgesine indirgediği görülmektedir (şekil 4.1. ve şekil 4.3.).

Tablo 4.2. Susam protein izolatlarının amino asit bileşimi (g/100 g)

Amino asit	Susam protein izolatı
<i>Esansiyel amino asitler</i>	
Fenilalanin	4.47±0.00
İzolösin	2.32±0.01
Lösin	5.68±0.00
Lisin	2.82±0.01
Metiyonin	2.78±0.00
Treonin	3.45±0.00
Valin	3.52±0.00
Histidin	2.51±0.01
<i>Esansiyel olmayan amino asitler</i>	
Arginin	11.86±0.01
Alanin	4.33±0.00
Aspartik asit	6.92±0.00
Sistein	1.57±0.00
Glutamik asit	17.78±0.02
Glisin	2.26±0.00
Prolin	3.55±0.00
Serin	4.21±0.00
Tirozin	2.90±0.00
Toplam esansiyel olmayan amino asitler	55.38
Toplam esansiyel amino asitler	27.55
Toplam asidik amino asitler <sup>a</sup>	24.70
Toplam bazik amino asitler <sup>b</sup>	17.19
Toplam kükürtlü amino asitler <sup>c</sup>	4.35

Sonuçlar ortalama değer ± standart sapmadır, <sup>a</sup>Asidik amino asitler: aspartik asit, glutamik asit. <sup>b</sup>Bazik amino asitler: histidin, lisin, arginin. <sup>c</sup>Kükürt amino asitleri: metionin, sistein

SPI'nın esansiyel amino asitlerinin çoğu, Gorissen vd. (2018)'ın çalışmasındaki kenevir, soya ve bezelye proteinlerinden daha üstün bulunmuştur. Bu amino asitler arasında fenilalanin, metiyonin, treonin, valin ve histidin bulunur. Lösin ve izolösin

bezelye hariç kenevir ve soya proteinine üstünlük göstermiştir. Bununla birlikte, SPI, soya ve bezelye proteinlerine göre lisin bakımından yetersizdir.

Tahinin su miktarı %0.87, protein miktarı %25.52, yağ miktarı %53.63, kül miktarı %2.94, pH değeri 5.77, zeta potansiyeli -17.70 mV ve hidrodinamik çapı 7.56 µm olarak tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar literatürdeki benzer çalışmaların sonuçları ile uyumaktadır (Akbulut ve Çoklar, 2008; Başdoğan, 2016; Hou, 2017; Özcan ve Akgül, 1994; Tounsi, vd., 2019). Ayrıca çalışmada kullanılan tahin, Tahin Tebliği'nde belirtilen sınır değerler içerisinde (Anonim, 2015). Bilindiği gibi tahinin içeriğinde yüksek oranda yağ bulunmasından dolayı kıvamlı bir sıvıdır ve hem enerji hem de besin değeri susam tohumlarından daha fazladır. Zeta potansiyeli verilerinin en popüler kullanımlarından biri zeta değerini kolloid stabilitesi ile ilişkilendirmektir.  $\pm 0-10$  mV,  $\pm 10-20$  mV,  $\pm 20-30$  mV ve  $> \pm 30$  mV zeta potansiyeli değerlerine sahip dispersiyonları sırasıyla oldukça kararsız, nispeten kararlı, orta derecede kararlı ve yüksek düzeyde kararlı olarak sınıflandırılabilir (Bhattacharjee, 2016). Buna göre tahin -17.70 mV ile nispeten kararlı denilebilecek sınıfta yer almaktadır. Bu durum tahinin bekledikçe kolloidal stabilitesindeki kararsızlığı ve dolayısıyla faz ayrılmasını açıklayan durumlardan biri olduğu söylenebilir.

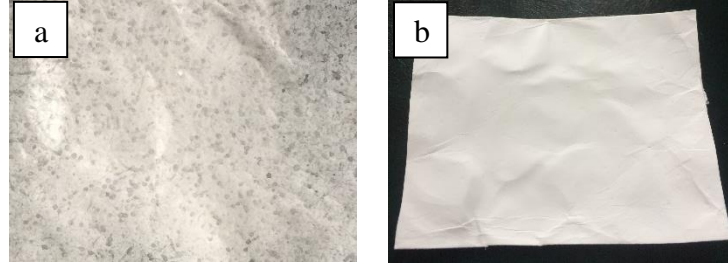
#### **4.2. Nanolif Üretiminde Kullanılan Besleme Çözeltisinin Analizleri**

Başarılı bir şekilde nanolif üretebilmek için elektrospinning işleminde bazı parametrelerin çok önemli olduğu bildirilmektedir. Bu parametreler arasında besleme çözeltisinin viskozitesi ve elektriksel iletkenliği ile işlem ve çevresel koşullar kolaylıkla ölçülebilecek ve sağlanabilecek parametrelerdir (Bhardwaj ve Kundu, 2010; Çiçek, 2016; Ghorani ve Tucker, 2015; Haghi ve Akbari, 2007; Okutan, vd., 2014; Xue, vd., 2019). Viskozitesi çok düşük olan polimer çözeltilerinden sürekli bir lif üretimi olmadığı, fazla viskoz çözeltilerde ise işlem esnasında çözelti besleme zorluğu yaşanmaktadır. Bunun için elektrospinning işleminde polimerin yapısına göre besleme çözeltisinin optimum viskoziteye sahip olması gereklidir. Sürekli liflerin elde edilebileceği konsantrasyon aralığının belirlenmesinde çözeltinin viskozitesi önemli bir rol oynar (Bhardwaj ve Kundu, 2010; Çiçek, 2016; Ghorani ve Tucker, 2015; Terzi, 2013). Bunların yanında elektriksel iletkenliğe sahip olmayan polimer çözeltileriyle elektrospinning işlemi gerçekleşemez. Nanoliflerin çapında önemli bir düşüş olması çözeltinin elektrik iletkenliğinin yüksek olduğunu gösterirken, uniform lifler üretmek

için jetin elektriksel kuvvetle uzamasının yetersiz kalması çözeltinin düşük iletkenliği ile açıklanmaktadır (Bhardwaj ve Kundu, 2010).

Açıklanan bilgiler birlikte düşünüldüğünde, elektrospinning için polimere özgü, optimal viskozite ve elektriksel iletkenlik gibi değerlerin bulunduğu söylenebilir. Bu özelliklerin liflerin morfolojisi üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca besleme çözeltileri tamamen homojen olmalıdır ve viskozite elektrospinning işleminin gerçekleşebileceği aralıkta olmalıdır. Ratanavaraporn vd. (2010) elektrospinning işlemi sırasında besleme çözeltisinin viskoelastik özelliğinin tartışmasız en önemli malzeme parametresi olduğunu açıklamıştır. Ayrıca, işlem sırasında viskoelastik özelliklerin ölçülmesinin pratik olmadığını ve bunun yerine çözeltinin viskozitesinin, elektrospinning yapısının döndürülebilirliği, boyutu ve morfolojisi hakkında iyi bir gösterge sağlayabileceğini belirtmişlerdir.

Mevcut çalışmada SPI içeren (%13 PVA, %2 SPI) nanolif (SPINL) üretimi için hazırlanan besleme çözeltisinin viskozitesi 1325 cP olarak tespit edilirken, elektriksel iletkenliği 3.38 mS/cm olarak belirlenmiştir. Sadece PVA'dan (%13 PVA) üretilen ve pozitif kontrol grubu olarak kullanılan nanoliflerin (PVANL) ise viskozitesi 433.3 cP ve elektriksel iletkenliği 487 µS/cm olarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında PVA çözeltisine SPI eklenmesi hem viskoziteyi hem de elektriksel iletkenliği arttırmıştır. Çözeltinin iletkenliği belli bir seviyeye kadar artması nanolif oluşumunu pozitif olarak etkilemektedir. Fakat 5 mS/cm'den daha fazla iletkenliği olan çözeltilerle nanolif elde edilememektedir (Çiçek, 2016). Mevcut çalışmada besleme çözeltilerinin elektriksel iletkenlik değerleri kabul edilebilirdir ve nanolif üretimi gerçekleştirilebilmiştir. Viskozitenin artmasının proteinin kıvam verici özelliğinden kaynaklanabileceği öngörülmektedir. Elektriksel iletkenlikteki artışın nedeni ise protein izolatındaki yüksek kül miktarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Yapısında iyonik bileşenler bulunduran polimerlerin çözeltideki oranının artışı çözelti iletkenliğinde artışa sebep olurken, yapısında iyonik bileşenler bulundurmeyen polimerler için durum tam aksidir (Okutan, 2013). Ayrıca SPI çözeltisinin yüksek elektriksel iletkenliği, esas olarak glutamik ve aspartik asitlerden oluşan amino asit profillerinden (Tablo 4.2.) kaynaklanabilir. Çalışmada üretilen nanolifler Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Çalışmada üretilen nanolifler; (a) SPINL, (b) PVANL

El Halal vd. (2019) siyah fasülye protein konsantreleri (BPC) ve polivinil alkolden elde ettikleri nanoliflerin, lif oluşturan çözeltilerinin elektriksel iletkenliklerini 1.41-2.32 mS/cm arasında değişen değerlerde bulmuşlardır. Çözeltideki BPC oranının (75:25) artmasıyla elektriksel iletkenlikte bir artış olduğunu ( $p < 0.05$ ) ve bu artışın PVA çözeltilerinden yaklaşık 10 kat daha yüksek olan BPC'nin yüksek elektrik iletkenliği ile ilgili olabileceğini rapor etmişlerdir. Aynı çalışmada BPC:PVA oranı arttıkça çözelti viskozitesinde artış gözlemlendiği bildirilmiştir. Shanesazzadeh vd. (2018) PVA ile ayçiçeği proteini izolatının (API) çözeltilerinin elektriksel iletkenliğini inceledikleri çalışmalarında çözeltideki protein miktarının artışı ile yüksek elektriksel iletkenlik değerleri gözlemlemiştir. Okutan vd. (2014) elektrospinning işlemine etki eden parametreler ve elektrospin jelatin nanoliflerin karakterizasyonunu inceledikleri çalışmada jelatin çözeltilerinin elektriksel iletkenliğinin ve viskozitesinin, jelatin konsantrasyonu ile arttığını bildirmişlerdir.

#### 4.3. Protein İzolatının Fonksiyonel Analizleri

Emülsifiye edici özellikler, çeşitli endüstriyel ürünlerin davranışını etkileyen proteinlerin önemli fonksiyonel özelliğidir. Emülsifiye etme kapasitesi (EK) ve emülsiyon stabilitesi (ES), endüstriyel bir proseste kullanılacak bir protein seçimini etkileyen kritik parametrelerdir. Proteinler, su-yağ ara yüzündeki gerilimi azaltabilir ve birleşmenin önlenmesine yardımcı olabilir. Bir emülsiyondaki bir proteinin stabilize edici etkisi, yağ damlasını çevreleyen ve birleşmesini önleyen zar matrisinden gelir (Cano-Medina, vd., 2011). Proteinlerin fonksiyonel özelliklerden bazıları çözünürlük, su ve yağ tutma kapasitesi, köpüklenme kapasitesi ve stabilitesi, jelleşme ve viskozitedir. Bu özelliklerin önemi, protein izolatının kullanılacağı gıda ürünlerinin türüne göre değişir. Örneğin, et yağı kullanılan ürünlerde kullanım için yüksek yağ ve su tutma kapasitesine sahip protein izolatları tercih edilirken, yüksek emülsifiye edici ve köpürme özelliklerine sahip protein salata sosu ve çorba için iyidir (Onsaard, 2012).

Susam protein izolatlarının su ve yağ tutma kapasitesi, köpürme, emülsifiye edici özellikleri Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3. Susam protein izolatlarının su ve yağ tutma kapasitesi, köpürme, emülsifiye edici özellikleri

SPI	Değer	SPI	Değer
STK (g/g)	1.26±0.04	ESİ (dak)	44.96±0.01
YTK (g/g)	3.40±0.26	KK (%)	36.21±2.44
EK (%)	51.32±1.86	KS <sub>10</sub> (%)	22.79±0.41
ES (%)	49.50±0.71	KS <sub>30</sub> (%)	20.26±0.36
EAI (m <sup>2</sup> /g)	12.86±0.89		

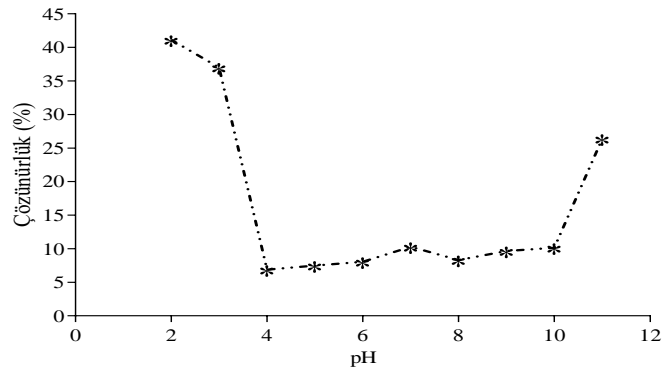
Sonuçlar ortalama değer ± standart sapmadır

#### 4.3.1. Çözünürlük

SPI için protein çözünürlük profili Şekil 4.3.’de sunulmuştur. pH-çözünürlük profili, tüm proteinler için benzer olan ve su içindeki çözünürlüğü tipik olan U-şeklinde bir eğriye sahiptir (Ma, vd., 2020; Xue, vd., 2013). Susam protein izolatu izoelektrik nokta bölgesinde (pH 4-5, Şekil 4.1.) minimum çözünürlük göstermiştir. pI değerlerine yakın bölgede düşük protein çözünürlüğü, proteinlerin bu bölgede düşük bir net yüke sahip olmasına atfedilebilir. pH, izoelektrik noktadan uzaklaştıkça çözünürlük artmıştır. 2 ile 3 pH değerlerinde, SPI için çözünürlük en yüksek değerlerdir sırasıyla %41.11 ve %36.99’dur. En düşük çözünürlük değeri %6.87 ile pH 4’de belirlenmiştir. Bu sonuçlar, Achouri vd. (2012), Achouri ve Boye (2013) ve Fasuan vd. (2018b) tarafından bildirilen çalışmalar ile uyumludur. Achouri vd. (2012) susam protein izolatının suda çözünürlüğünü izoelektrik nokta (pH 4-5) bölgesinin üzerindeki pH değerlerinde %5 ile %45 arasında belirlemişlerdir. Mevcut çalışmada, 5 ile 10 arasındaki pH değerlerinde, çözünürlük düşük kalmıştır. Bunun sebebi, protein izolasyonu esnasında yüksek tuz konsantrasyonunun (0.6 M NaCl) proteinler tarafından klorür iyonlarının adsorpsiyonu, protein molekülleri arasındaki itici etkileşimleri azaltarak kümelenmeye katkıda bulunabilmesi ile açıklanabilir (Achouri, vd., 2012). Fasuan vd. (2018b) susam protein izolatının pH 4’te %8.39, muhtemelen izoelektrik pH’da ve pH 10’da %55.08 en yüksek çözünürlükte çözünürlük gösterdiğini ve izoelektrik pH bölgesinin altında ve üstünde protein çözünürlüğünde artış olduğunu rapor etmiştir.

Endüstri tarafından yaygın olarak kullanılması nedeniyle soya proteini izolatu ile bir karşılaştırma yapılması gerekirse Ma vd. (2020) soya protein izolatının en düşük

çözünürlüğü, izoelektrik noktası civarında olan pH 4.0'da gözlenmiştir. Aynı şekilde bir başka çalışmada soya proteini izolatının çözünürlüğünün izoelektrik nokta yakınlarında (pH 4.5) en düşük seviyede olduğu tespit edilmiştir (Xue, vd., 2013). Soya proteini izolatu, susam proteini izolatu ile karşılaştırıldığında soya protein izolatının daha yüksek çözünürlükler gösterdiği ve aynı zamanda benzer grafik eğrileri oluşturduğu görülmektedir (Achouri, vd., 2012; Fasuan, vd., 2018b; Ma, vd., 2020; Xue, vd., 2013). Diğer çalışmalar, tohum proteinleri için genel izoelektrik noktasının pH 4.0–5.0 civarında olduğunu göstermiştir, kinoa proteinleri (pI= 4.5), buğday proteini (pI = 4.22), pirinç proteinleri (pI = 4.46) ve baklagil proteinleri (pI = 4.5) gibi farklı bitki kaynaklarından gelen proteinler için de bu durum geçerlidir (Mir, vd., 2019; Yang, vd., 2021).



Şekil 4.3. pH'ın susam protein izolatının çözünürlüğüne etkisi

#### 4.3.2. Su ve Yağ Tutma Kapasitesi

Su tutma kapasitesi (STK) ve yağ tutma kapasitesi (YTK), özellikle protein için gıda özelliklerinin önemli göstergeleridir. STK, proteinin dokusunu ve viskozitesini yansıtabilen suyu tutma kapasitesi anlamına gelirken, YTK, proteinin lipidleri bağlama kapasitesini gösterir ve koyulaştırıcı ve emülsifiye edici özelliklerin bir yansımasıdır (Gundogan ve Can Karaca, 2020; Yang, vd., 2021). Susam protein izolatının su tutma kapasitesi 1.26 g su/g protein, yağ tutma kapasitesi 3.40 g yağ/g protein olarak bulunmuştur (Tablo 4.3.). STK ve YTK, Gandhi ve Srivastava (2007) (STK ve YTK sırasıyla 1.92 mL/g ve 3.78 mL/g) tarafından bildirilene benzerdir. YTK'nın STK'den daha fazla olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni, SPI'nın nötr pH'da çözünürlüğünün düşük olması (%10.28, Şekil 4.3.) olabilir. Benzer şekilde Özdemir vd. (2022) yaptıkları çalışmada susam proteinlerinin yağ tutma kapasitelerini su tutma kapasitelerinden fazla bulmuşlardır.

Onsaard vd. (2010) susam protein izolatlarının STK'larını 1.98-3.53 g/g arasında, YTK'larını ise 1.19-2.69 g/g arasında bulmuşlardır. Aynı çalışmada soya protein izolatının STK ve YTK değerleri ise sırasıyla 6.06 g/g ve 2.94 g/g olarak tespit edilmiştir. Yang vd. (2021) susam proteinlerinin su bağlama kapasitesini 1.64 g/g, yağ bağlama kapasitesini ise 6.41 g/g olarak tespit etmişlerdir. Benzer şekilde, Gundogan ve Can Karaca (2020) fasulye protein izolatlarının su tutma kapasitelerini 1.8 ile 2.1 g/g arasında, yağ tutma kapasitelerini 4.0 ile 5.4 g/g arasında bulduklarını bildirmişlerdir. Ayrıca, yüksek YTK'li protein izolatlarının, birçok üründe içerik, kıvam ve viskozite gibi bazı istenen özellikleri iyileştirebilecek bileşen olarak kullanılabilirliğini bildirmişlerdir.

### 4.3.3. Emülsiyon Özellikleri

Susam proteini izolatının emülsifiye edici özellikleri, emülsiyon kapasitesi (EK), emülsiyon stabilitesi (ES), emülsifiye edici aktivite indeksi (EAİ) ve emülsiyon stabilite indeksi (ESİ) (Tablo 4.3.) aracılığıyla karakterize edilmiştir. EK ve ES sırasıyla %51.32 ve %49.50 olarak belirlenmiştir. Cano-Medina vd. (2011) yaptıkları çalışmada susam protein konsantrelerinin (SESPC) EK'lerini en yüksek %38.0, en düşük %19.2 olarak bildirmişlerdir. Aynı çalışmada SESPC'lerin ES'lerini en yüksek %50.6, en düşük %35.6 olarak bildirmişlerdir. Sharma vd. (2016) SPI'nin emülsifiye edici aktivitesini pH 9'da %8.70, pH 12'de %28.96 olarak belirlemişlerdir. Bu sonuçlar ile, susam proteinlerinin ekstraksiyon yöntemleri ve koşullarındaki farklılıkların emülsifiye edici özellikleri etkilediği söylenebilir. Özdemir vd. (2022) susam proteinlerinin EK'lerini %43.7 ve %48.6 olarak belirlerken, ES'lerini %44.4 ve %47.9 olarak belirlemişlerdir.

EAİ, proteinin anında birleşmeyi önlemek ve yağ fazının dağılmasına yardımcı olma için ara yüzey alanının yeterli kaplamasını hızlı bir şekilde sağlama yeteneğinin bir ölçüsüdür (Onsaard, vd., 2010). Mevcut çalışmada, SPI'nin EAİ değeri 12.86 m<sup>2</sup>/g olarak belirlenmiştir. Onsaard vd. (2010) tarafından bildirilen sonuçlarda susam protein konsantrelerinde pH 9'da ekstrakte edilen örneğin EAİ'si (14.95 m<sup>2</sup>/g) çalışmamızla uyumlu iken, pH 11'de ve tuzlu ekstrakte şartlarındaki örneklerin EAİ'si (sırasıyla 96.66 ve 49.70 m<sup>2</sup>/g) daha yüksektir. Benzer şekilde, sonuçlarımız diğer çalışmalarda bildirilenlerle de tutarlıdır (Achouri, vd., 2012; Fasuan vd., 2018b). Achouri vd. (2012) susam proteinlerinin EAİ değerini en düşük 13 m<sup>2</sup>/g, en yüksek 20.7 m<sup>2</sup>/g olarak belirlerken, aynı çalışmada soya proteini izolatının EAİ değerini 12.2

m<sup>2</sup>/g olarak belirlemişlerdir. Fasuan vd. (2018b) ise susam protein izolatlarının EAİ değerlerini 9.47-44.88 m<sup>2</sup>/g arasında tespit etmiştir. Koysuren vd. (2021) üç farklı metotla ekstrakte ettiği susam proteinlerinde EAİ değerini dar bir aralıkta (2-9 m<sup>2</sup>/g) belirlediklerini ve EAİ ile ESİ değerleri üzerine ekstraksiyon tipinin önemli ölçüde (p<0.05) etkilediğini rapor etmişlerdir.

Emülsiyon stabilitesi, zamanla ilişkili olan bir özelliktir. Emülsiyonun ara yüzeyinde oluşan protein filminin stabilitesi, yağ ve sulu fazlardaki proteinlerin etkileşimlerine bağlı olduğu bildirilmektedir (Onsaard, vd., 2010). SPI'nin ESİ değeri 44.96 dakikadır. Çalışmamızdaki ESİ değeri literatürde bildirilenlerle benzerdir (Fasuan, vd., 2018b; Onsaard, vd., 2010). Yapılan bir çalışmada, aynı anda protein ve yağ geri kazanım tekniği kullanılarak üretilen susam (*Sesamum indicum*) protein izolatının (SPI) bazı fonksiyonel özellikleri, in vitro protein sindirilebilirliği ve amino asit profili üzerindeki pH ve sodyum klorür (NaCl) konsantrasyonunun etkileri değerlendirilmiştir. Bu çalışmada SPI'lerin ESİ değeri en düşük %28.94, en yüksek ise %85 olduğu bildirilmiştir (Fasuan, vd., 2018b). Onsaard vd. (2010) ise susam proteinlerinin ESİ değerlerini 31.45-44.41 dakika arasında bildirirken, aynı çalışmada soya proteininin ESİ değerini 63.58 dakika olarak tespit etmişlerdir. Bir başka çalışmada ise, Achouri vd. (2012) SPI'lerin ESİ değerlerini 17.4-20.8 dakika arasında bulurken, soya protein izolatınıninkini 18.6 dakika olarak bulmuşlardır.

Ancak fasulye (Gundogan ve Can Karaca, 2020), soya (Onsaard, vd., 2010), nohut (Ghribi, vd., 2015), mercimek ve bezelye (Karaca, vd., 2011) gibi diğer protein izolatlarıyla karşılaştırıldığında susam proteininin emülsifiye edici aktivite ve emülsiyon stabilize indeksleri düşüktür. Bunun nedeni, susam proteininin çözünürlüğünün diğer kaynaklardan elde edilen proteinlerinkine kıyasla düşük olmasının olabileceği düşünülmektedir.

#### **4.3.4. Köpüklenme Özellikleri**

SPI'nin pH 7'de köpürme kapasitesi (KK) ve stabiliteleri (KS) Tablo 4.3'te gösterilmiştir. İzolatın KK'si %36.21, 10 dakika bekletildikten sonraki KS'si %22.79 ve 30 dakika bekletildikten sonraki KS'si %20.26'dır. İyi köpüklenebilirlik ile yüzey gerilimini azaltan esnek protein moleküllerinin ilişkilendirelebileceği, öte yandan, düşük köpürme özelliğinin ise yüzey denatürasyonuna direnç gösteren, oldukça düzenli küresel proteinlerle ilişkili olabileceği bildirilmiştir (Onsaard, vd., 2010).

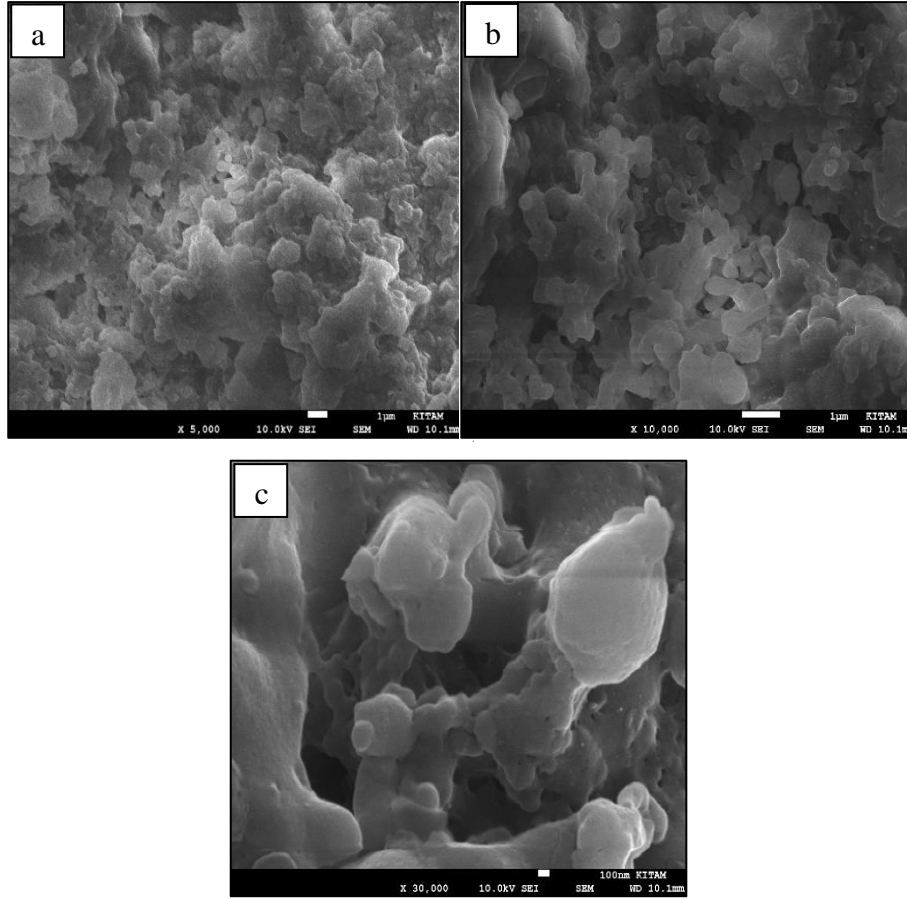
Susamdaki proteinler %67.3 globulin, %8.6 albümin, %6.9 glutelin ve %1.4 prolaminidir. Ayrıca, alkali protein izolatu (pH 10'da suda ekstrakte edilmiş ve pH 4.0'da çökeltilmiş) %41.3 albümin, %41.0 glutelin, %14.8 globulin ve %0.8 prolamin içerir (Onsaard, 2012; Rivas, vd., 1981). Globüler proteinlerin miktarının fazla olmasıyla, susam protein izolatlarının KK ve KS'lerinin düşük olmasının nedeni açıklanabilir. Öte yandan pH'nın artması KK ve KS değerlerinde iyileşmeye yol açmaktadır ve bunun nedeninin artan pH değerinin, gelişmiş protein açılmasına ve yapısal esnekliğe yol açması, dolayısıyla arayüzey membran oluşumunu teşvik etmesinin olduğu düşünülmektedir (Yang, vd., 2021).

Ayrıca, literatürde bildirilen diğer çalışmalarda da susam protein izolatları ve konsantrasyonlarının KK ve KS değerlerinin çok yüksek olmadığı görülmüştür (Fasuan, vd., 2018b; Onsaard, vd., 2010; Sharma, vd., 2016). Fasuan vd. (2018b) susam protein izolatlarının KK değerlerini pH 4'te %13-26.84 arasında bulmuşlar ve bunun nedeni olarak da izolatu bu pH'da düşük çözünürlükte olmasıyla ilişkilendirilebileceğini bildirmişlerdir. Onsaard vd. (2010) susam protein konsantrasyonlarının KK değerlerini %40'lardan %80'lere kadar değişen aralıkta bulurken, KS değerlerini 15-30 dakika arasında tespit etmişlerdir. Aynı çalışmada soya protein izolatının KK değerini %100'e yakın, KS değerini ise 50 dakika olarak tespit etmişlerdir. Özdemir vd. (2022) susam proteinlerinin köpük kapasitesini %30 ve %35 olarak belirlemiş ve yüksek köpürme kapasitesini daha yüksek protein çözünürlüğü ile ilişkili olabileceğini belirtmişlerdir.

#### **4.4. Protein İzolatının ve Nanoliflerin Karakterizasyonu**

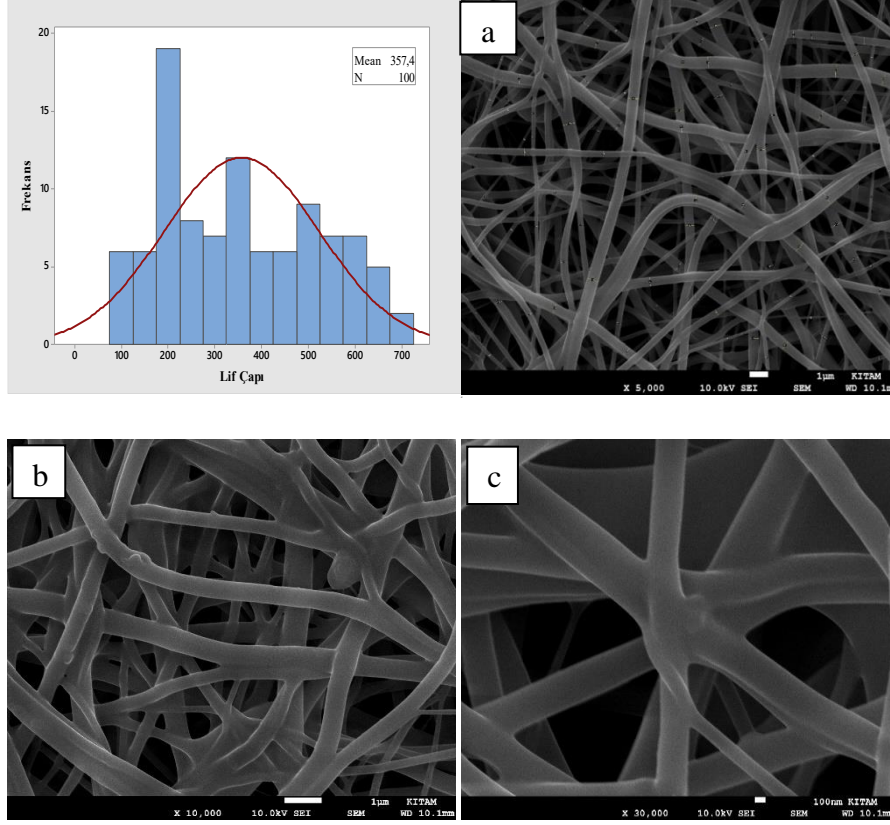
##### **4.4.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)**

Susam protein izolatının ve nanoliflerin yapısal morfolojisi, üç farklı büyütmeye taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımıyla incelenmiştir. Ayrıca görüntüler üzerinden çap dağılım grafikleri çıkarılmıştır. SPI tozunun parçacıkları düzensiz şekillerdedir ve uniform değildirler (Şekil 4.4.). Ayrıca, yüzey buruşuk ve parçacıkların aglomere olduğu görülmüştür. Bu çalışmaya benzer şekilde, Saini vd. (2018), susam proteini izolatında benimsedikleri alkali ekstraksiyon-izoelektrik çökeltme tekniğinin proteinin mikro yapısını buruşuk yüzeyli kompakt yapıya çevirdiğini bildirmişlerdir. Saatchi vd. (2021) susam proteini konsantrasyonunun SEM analizi sonucu düzensiz şekilli ve düzgün olmayan parçacıkların görüldüğünü rapor etmişlerdir.



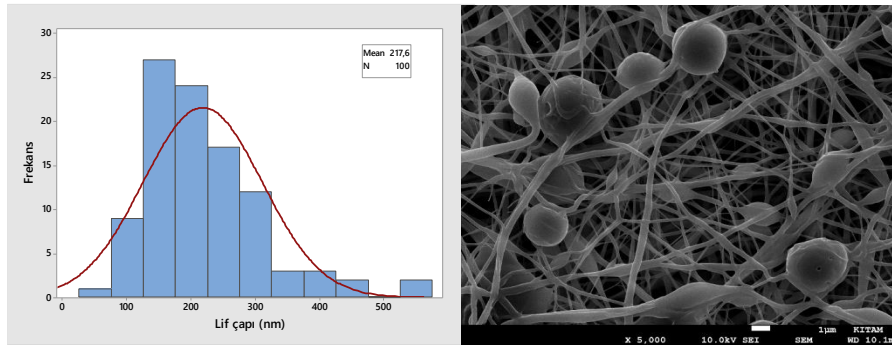
Şekil 4.4. Susam protein izolatının SEM görüntüleri: (a) x5000 büyütme; (b) x10000 büyütme; (c) x30000 büyütme

Nanolif için SEM görüntüleri incelendiğinde PVANL örneklerinin silindirik kesitli, tek biçimli ve düzgün yapıya sahip liflerin üretildiği görülmektedir (Şekil 4.5.). Görüntüler üzerinden alınan ölçümler sonucunda lif çaplarının 100-700 nm aralığında olduğu ve ortalama çap değerinin ise 357.4 nm olduğu belirlenmiştir. Mahmud vd. (2020) ürettiği PVA liflerin yuvarlak şekilli olduğu ve lif keçelerinde boncuk bulunmadığını ve ortalama lif çapını 223 nm olarak bildirmişlerdir. Raja vd. (2021) %7, %8 ve %9 konsantrasyonda PVA çözeltilerinden geliştirilen liflerin sırasıyla 293-373 nm, 237-340 nm ve 102-232 nm arasında boyut aralıklarına sahip olduğunu bildirmişlerdir. Aynı çalışma da PVA konsantrasyonunun artırılması viskoziteyi arttırmış, bu da yüzey geriliminin üstesinden gelen zincir dolaşıklığında artışa neden olmuş ve sonuçta tek tip elektrospin nanolif gelişimi ile sonuçlanmıştır. Shi vd. (2018) saf PVA nanoliflerinin yaklaşık 240 nm'lik bir ortalama çapa sahip, tek tip ve pürüzsüz morfoloji sunduğunu bildirmişlerdir.



Şekil 4.5. PVANL örneğinin SEM görüntüleri: (a) x5000 büyütme; (b) x10000 büyütme; (c) x30000 büyütme

SPINL örneğinin SEM görüntüsü ve çap dağılımı Şekil 4.6.'da verilmiştir. Görüntüler üzerinden alınan ölçümler sonucunda lif çaplarının 70-550 nm aralığında olduğu ve ortalama çap değerinin ise 217.6 nm olduğu belirlenmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere SPI partikülleri PVA taşıyıcı polimeri ile enkapsüle edilmiştir. PVANL lifleriyle karşılaştırıldığında SPINL liflerinin çapı azalmıştır. Bunun başlıca nedeni, besleme çözeltisine SPI ilavesinin PVA çözeltilerinin iletkenliğinin artırması ve SPI'dan kaynaklanan minerallerin ilavesiyle uçan jetlerin artan yüzey yük yoğunluğudur (Shi, vd., 2018).



Şekil 4.6. SPINL örneğinin SEM görüntüsü ve lif çap dağılımı (x5000 büyütme)

Hem PVANL hem de SPINL örneklerinin liflerinin birbirine toplanan nihai mat üzerinde çapraz olarak düzenlendiği, rastgele dağıtıldığı ve dokumasız bir ağ şeklinde oluşturulduğu görülmektedir. Ayrıca, bazı lineer olukların varlığından dolayı lif yüzeyleri çok düzgün görünmemektedir. Bu rastgele çapraz geçiş permütasyonları, lifler arasında çok sayıda birbirine bağlı boşluklar/gözenekli yapılar oluşturur. Birbirine bağlı boşluklar/gözenekli yapılar, daha fazla adsorpsiyon bölgesi sağladıkları için adsorpsiyon etkisi için faydalıdır. Bu nano ölçekli fiber çapları ve gözenek boyutları, fiberlerin spesifik yüzey alanını arttırmada faydalıdır, böylece yağın fiber yüzeyinde adsorpsiyon ve yapışma kabiliyetini artırır (Ge, vd., 2021).

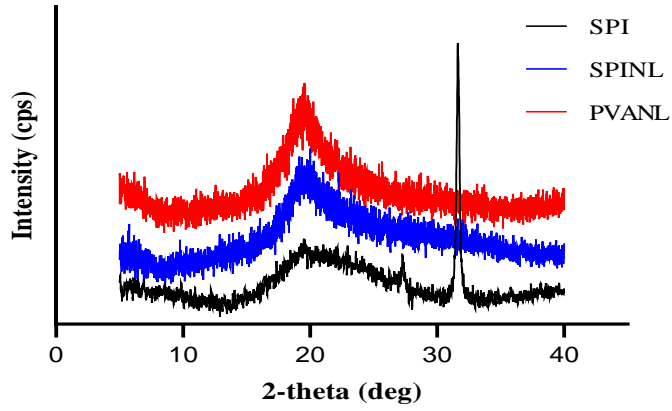
#### **4.4.2. X-ışını Kırınımı (XRD)**

Nanoliflerin ve SPI'nın kristal yapısı XRD ile incelenmiştir. Şekil 4.7, örneklerin X-ışını kırınım spektrumlarını göstermektedir. İzolatın XRD'si 19.5°'de geniş ve dağınık bir arka plan göstermiş, bu da izolatın ana yapısının amorf olduğunu göstermektedir. Amorf pike ek olarak, protein izolasyonundan sonra kalan minerallere veya diğer bileşiklere atfedilebilecek başka keskin zirveler de vardır ( $2\theta = 27.3^\circ$  ve  $31.6^\circ$ ). Bu sonuçlar, önceki araştırmacıların bildirdikleri ile uyumludur (Fathi, vd., 2019; Saatchi, vd., 2021; Saini, vd., 2018; Sharma ve Singh, 2016).

PVANL'nin XRD modeli, yalnızca PVA'nın yarı kristal yapısını gösteren geniş bir kırınım boşluğunu gösterir. SPINL'nin XRD modeli de PVANL örneğinkine benzemektedir. SPINL örneğinde SPI'nın tepe noktaları büyük ölçüde yoktur, bu da susam protein izolatının kristal formda elektrospin liflerinde bulunmadığını ve PVA ile düzgün bir şekilde birleştiğini gösterir. PVANL örneği için XRD modeli diğer araştırmacıların sonuçları ile benzerlik göstermektedir (Ge, vd., 2021; Mahmud, vd., 2020). Ge vd. (2021) araştırmasında farklı PVA konsantrasyonlarına göre çeşitli lifler için XRD spektrumunda  $2\theta = 19.2^\circ$  civarında görünen güçlü bir kırınım piki vardır ve bu güçlü moleküller arası hidrojen bağı oluşumundan dolayı PVA liflerindeki PVA yarı kristal yapılarının düzlemine atfedildiğini rapor etmişlerdir.

PVA toz haldeyken yarı kristal özellik sergilerken, PVA elektrospin matının ise amorf özellik gösterdiği tespit edilmiştir. PVA tozunun kristal yapısı suda çözündüğünde ortadan kalkmaktadır. Elektrospin işleminde zincirlerin kristalli yapı meydana getirmek için sürelerinin olmadığından kristal gelişimi engellenmiş olabilir.

Çünkü yüksek uzama oranıyla gerilmiş zincirlerin çabuk bir şekilde katılaşması gerçekleşmektedir (Gökşen, 2020; Jia, vd., 2007).



Şekil 4.7. Örneklerin XRD spektrumları

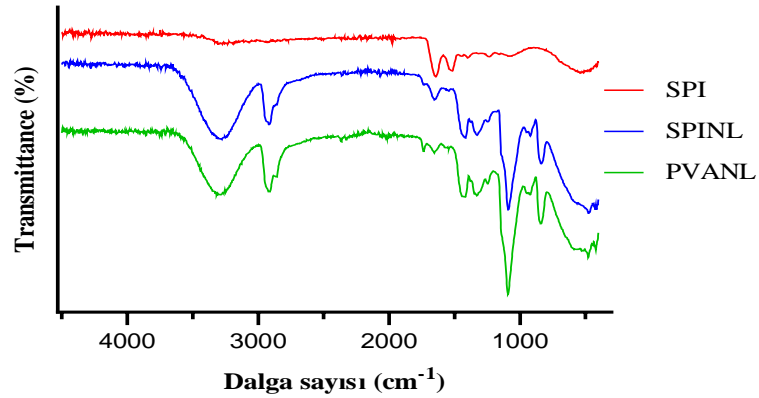
#### 4.4.3. Fourier Dönüştürümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)

Fourier transform kızılötesi (FTIR) spektroskopisi, katı, kristal ve çözelti durumlarında proteinlerin konformasyonel değişikliklerini incelemek için değerli bir yöntem sağlar. Bununla birlikte, çalışılan protein materyallerinin saflaştırılmış fraksiyonlardan ziyade farklı bireysel proteinlerden (2S albüminler, 7S ve 11S globulinler) oluşan protein ekstraktları (izolatlar ve konsantreler) olması, bu yöntem için bir sınırlama oluşturmaktadır. Ancak birçok bitki proteini ve gıda endüstrisi için önemli olan diğer moleküller, maliyetli ve zaman alıcı olduğu için saflaştırılamamaktadır (Achouri, vd., 2012).

Protein izolatu ve nanoliflerin üretimleri sırasında örneklerin kimyasal yapılarında bir etkileşimin veya değişimin olup olmadığını tespit etmek ve proteinlerin ikincil yapısı hakkında bilgiler edinmek amacıyla FTIR analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen spektrumlar Şekil 4.8.'de verilmiştir. Bu spektrumlar kullanılarak fonksiyonel gruplar tespit edilmiştir.

SPI, protein omurgasının spesifik gerilme ve bükülme titreşimlerinden kaynaklanan karakteristik protein Amid I ( $1642\text{ cm}^{-1}$ ), Amid II ( $1516\text{ cm}^{-1}$ ) ve Amid III ( $1238$  ve  $1396\text{ cm}^{-1}$ ) ile protein spektrumunun tipik özelliklerini göstermiştir (López-Monterrubio, vd., 2020; Saatchi, vd., 2019; Yang, vd., 2021). Amid I ve Amid II'deki karakteristik pikler ağırlıklı olarak N-H gerilme titreşimlerinden kaynaklanırken, Amid III'teki C-N gerilme ve N-H eğilme titreşimlerine atfedilmiştir

(Saatchi, vd., 2019; Yang, vd., 2021). Özellikle, Amid I grubunun yoğunluğu Amid II ve Amid III'ün yoğunluğundan daha güçlüdür. Amid I grubu, ikincil yapıyı tahmin etmek için yaygın olarak kullanılır. İkincil yapı, tekrar eden birimlerden (örneğin,  $\alpha$ -sarmal ve  $\beta$ -tabaka) oluşur. Proteinlerin fonksiyonel özellikleri, çözünürlük ve jelleşme gibi özellikleri etkileyen ikincil yapıları ile güçlü bir şekilde ilişkilidir (López-Monterrubio, vd., 2020; Palaniappan ve Jakobsson, 2017). Achouri vd. (2012) kızılötesi bantların nispi yoğunluklarından, SPI'nin ikincil yapısının, ağırlıklı olarak  $\alpha$ -sarmal ( $1648-1650\text{ cm}^{-1}$ ), rastgele bobin ( $1642\text{ cm}^{-1}$ ), antiparalel  $\beta$ -tabaka agregaları ( $1618$  ve  $1685\text{ cm}^{-1}$ ), dönüşler ( $1660$  ve  $1670\text{ cm}^{-1}$ ) ve yan zincir ( $1604\text{ cm}^{-1}$ ) yapıları olmak üzere birkaç banttan oluştuğunu bildirmişlerdir. Saatchi vd. (2019) susam protein konsantresinin FTIR spektrumunun Amid I, Amid II ve Amid III bantlarının sırasıyla  $1635$ ,  $1518$ ,  $1234\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlemlendiğini belirlemişlerdir. Bu sonuçlar, mevcut çalışmadaki SPI örneğinin FTIR spektrumu ile çok benzerdir. Aynı şekilde çalışmanın sonuçları diğer çalışmalarda uyumludur (Saini, vd., 2018; Yang, vd., 2021).



Şekil 4.8. Örneklerin FTIR spektrumları

PVANL örneğinin ana karakteristik piklerinin  $3305$ ,  $2916$ ,  $1735$ ,  $1655$ ,  $1422$ ,  $1325$ ,  $1089$  ve  $840\text{ cm}^{-1}$  civarında gözlemlendiği görülmektedir.  $3305\text{ cm}^{-1}$ 'deki pik, moleküller arası hidrojen bağlarından O–H gerilme titreşimine atfedilirken,  $2916\text{ cm}^{-1}$ 'deki pik, metilen gruplarından  $-\text{CH}_2$  gerilme titreşimine ve alkil gruplarından C–H gerilme titreşimine atfedilebilir (Ge, vd., 2021; Shi, vd., 2018).  $1735\text{ cm}^{-1}$ 'deki pik, asetat gruplarından C = O karbonil gerilmesine aitken,  $1655$ ,  $1422$ ,  $1325$ ,  $1089$  ve  $840\text{ cm}^{-1}$  etrafındaki pikler, sırasıyla  $\text{CH}_2$ 'nin C–H bükülme titreşimine, C–H deformasyon titreşimine, C–O–C asimetrik gerilmeye, asetil gruplarının C–O gerilmesine ve C–C gerdirme titreşimine atfedilebilir (Ge, vd., 2021). PVANL örneğinin FTIR spektrumu

literatürdeki diğer çalışmalarla uyumludur (Alhosseini, vd., 2012; Bhat, vd., 2005; Ge, vd., 2021; Kurd, vd., 2017; Shi, vd., 2018).

SPINL örneğinin spektrumunda ise ana karakteristik pikler 3300, 2916, 1652, 1416, 1325, 1087 ve 835  $\text{cm}^{-1}$  civarında gözlemlenmektedir. SPI ile karşılaştırıldığında, SPI örneğinin 1516 ve 1238  $\text{cm}^{-1}$  pikleri kaybolmuştur. Bu durum SPI'nın PVA ile etkileşime girdiğini gösterebilir. Ayrıca, SPINL'nin FTIR spektrumu PVANL'nin spektrumuna benzemektedir. Bu da SPINL örneğinde PVA'nın daha baskın karakteristik özellik gösterdiğini ve bunun da besleme çözeltisindeki oranların (%13 PVA ve %2 SPI) sebep olabileceği düşünülebilir.

#### **4.4.4. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC)**

DSC, protein termal stabilitesini ve konformasyonel değişiklikleri değerlendirmek için uygun bir yöntemdir (Yang, vd., 2021).  $T_0$  hal geçişinin başlama sıcaklığı,  $T_p$  denatürasyonun meydana geldiği sıcaklıktır ve termal stabilitenin bir ölçüsüyken,  $\Delta H$  ise hidrofobik bir gösterge ve kovalent olmayan etkileşime hakim olmak için gereken enerjidir.  $\Delta H$ , işlem sırasında denatüre olmayan protein oranını ölçmek için kullanılır (Saatchi, vd., 2021; Saini, vd., 2018). Örneklerin DSC sonuçları Tablo 4.4 ve termogramları Şekil 4.9.'da verilmiştir. Proteinlerin denatürasyonu genellikle DSC termogramında endotermik bir tepe noktası olarak algılanır (Gundogan ve Can Karaca, 2020). Şekilde de görüldüğü üzere DSC termogramları endotermik pikler sergilemiştir.

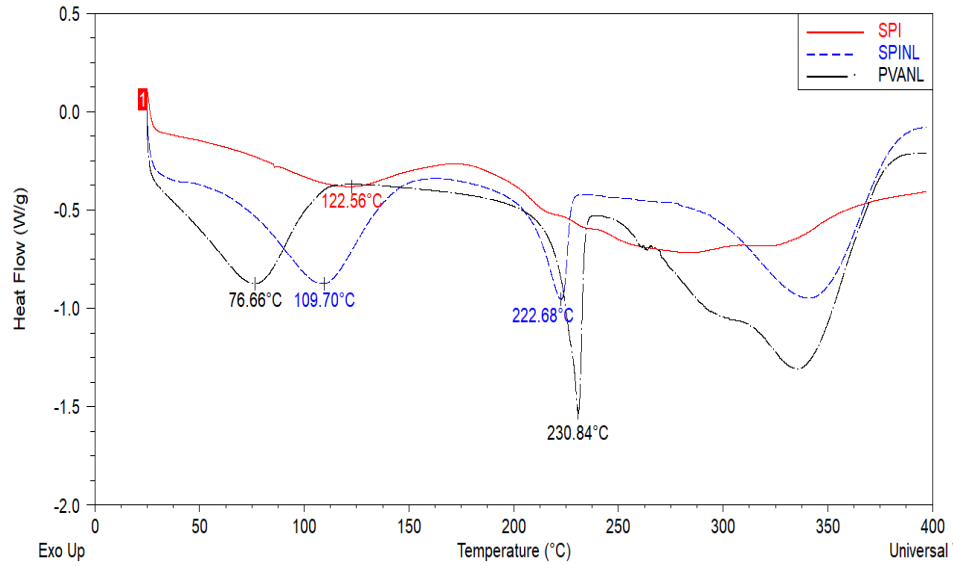
SPI için  $T_0$  88.12  $^{\circ}\text{C}$ 'de başlamıştır ve pik sıcaklığı  $T_p$  122.56  $^{\circ}\text{C}$  olarak tespit edilirken,  $\Delta H$  değeri ise 28.47 J/g olarak tespit edilmiştir. Ayrıca sadece SPI örneği için proteinin amorf fraksiyonları camsı geçiş ( $T_g$ ) meydana getirmiştir ve  $T_g$  değeri 85.56  $^{\circ}\text{C}$  olarak belirlenmiştir. Literatürde susam proteininin termal kararlılığı ile ilgili sonuçlar çok geniş bir aralıkta değişiklik göstermektedir. Sharma ve Singh (2016) susam protein izolatının  $T_g$  değerini 37  $^{\circ}\text{C}$ ,  $T_0$  değerini 98.25  $^{\circ}\text{C}$  ve  $T_p$  değerini 207  $^{\circ}\text{C}$  olarak belirlemişlerdir. Saini vd. (2018) SPI için  $T_0$  değerini 176.07  $^{\circ}\text{C}$ ,  $T_p$  değerini 210.78  $^{\circ}\text{C}$  ve  $\Delta H$  değerini ise 63.72 J/g olarak bulmuşlardır. Denatürasyon sıcaklığının yüksek çıkmasını proteinlerde daha yüksek oranda polar olmayan kalıntılar mevcudiyetine bağlamışlardır. Saatchi vd. (2021) ise susam protein konsantrelerinin  $T_g$  sıcaklığını 100.54  $^{\circ}\text{C}$  ve  $\Delta H$  değerini 51.10 J/g olarak bildirmişlerdir. Yang vd.

(2021) ise susam proteinlerinin  $T_0$  değerlerini 55.55-61.26 °C,  $T_p$  değerlerini 112.39-113.69 °C ve  $\Delta H$  değerlerini 203.4-220.8 J/g olarak tespit etmişlerdir.

Tablo 4.4. Örneklerin DSC analizi sonuçları

	I. Kısım				II. Kısım		
	$T_g$ (°C)	$T_0$ (°C)	$T_p$ (°C)	$\Delta H$ (J/g)	$T_0$ (°C)	$T_p$ (°C)	$\Delta H$ (J/g)
<b>SPI</b>	85.56	88.12	122.56	28.47	-	-	-
<b>SPINL</b>	-	65.19	109.70	149.50	207.00	222.68	47.74
<b>PVANL</b>	-	32.61	76.66	127.70	224.31	230.84	51.26

$T_g$ : Camı geçiş sıcaklığı,  $T_0$ : denatürasyon başlangıç sıcaklığı,  $T_p$ : pik veya denatürasyon sıcaklığı,  $\Delta H$ : denatürasyon entalpisi



Şekil 4.9. Örneklerin DSC termogramları

PVANL ve SPINL örneklerinin termogramı iki aşamadan oluşmaktadır. Örneklerin ilk endotermik piklerinde erime başlangıç sıcaklığı sırasıyla 32.61 ve 65.19 °C, denatürasyon sıcaklığı ise 76.66 ve 109.70 °C olarak belirlenirken,  $\Delta H$  değerleri sırasıyla 127.70 ve 149.50 J/g olarak belirlenmiştir. PVANL ve SPINL'nin ikinci endotermik piklerinde ise  $T_0$  değerleri sırasıyla 224.31 ve 207.00 °C,  $T_p$  değerleri sırasıyla 230.84 ve 222.68 °C,  $\Delta H$  değerleri sırasıyla 51.26 ve 47.74 J/g olarak tespit edilmiştir. PVANL lifine SPI eklenmesi ile üretilen SPINL örneğinin ilk endotermik pikde, protein izolatının yapıdaki suyu daha iyi tuttuğu ve su geç uzaklaştığı için  $T_0$  ve  $T_p$  değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu değerlerdeki ve termal stabilitedeki artış, PVA'ya SPI eklendiğinde PVA ağının hidrojen bağ yoğunluğunun değişmesinden kaynaklanabilir (Mahmud, vd., 2020). Ayrıca, SPINL örneğinin termogramı ve

PVANL'ye göre termal stabilitenin artması SPI'nın enkapsülasyonunun gerçekleştiğini göstermektedir. Bu örneklerdeki ikinci endotermik piklerin ise erime pikleri olduğu düşünülmektedir.

Shi vd. (2018) çalışmasında da PVA iki endotermik pik göstermiştir. İlk endotermik pik 87.9 °C, ikinci pik ise 191.1 °C'de denatürasyon göstermiştir. Subaşı Zarbaliyev (2018) yapmış olduğu çalışmada PVA'nın termogramında çalışmamıza benzer şekilde iki ayrı endotermik pik belirlemiştir. Ayrıca mevcut çalışmadaki sonuçlar literatür ile benzerlik göstermektedir (El-Sayed, vd., 2011; Hong, vd., 2021; Jia, vd., 2007).

#### 4.4.5. Termogravimetrik Analiz (TGA)

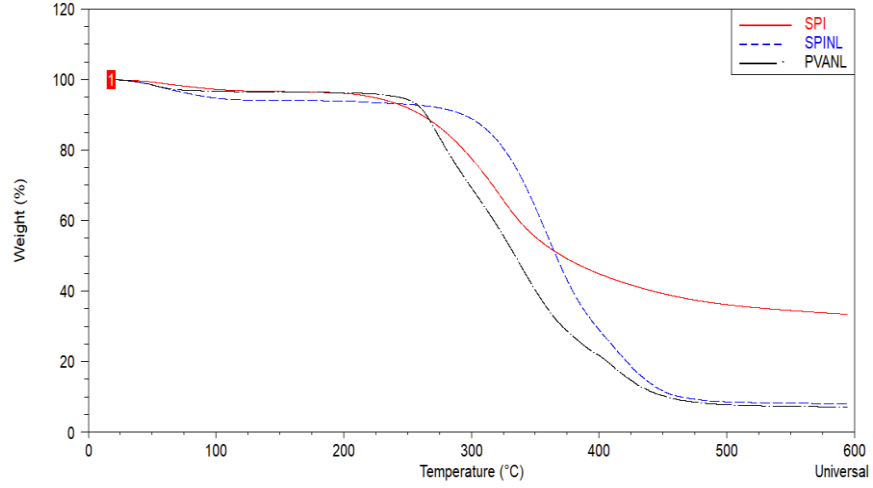
Termogravimetrik analiz (TGA), biyokütlenin yanma, gazlaştırma ve piroliz prosesleri sırasındaki termal davranışını araştırmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Termogravimetrik verileri, kontrollü bir atmosferde zamanın ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak bozunma miktarı ve hızı açısından ölçümler verir. TGA, sıcaklıktaki ilerleme ile kütledeki değişimi sunar ve bu nedenle biyokütlenin ürünlere termal dönüşümü sırasında yapıdaki fiziksel ve kimyasal değişiklikleri belirlemek için kullanılabilir (Müsellim, vd., 2018; Yang, vd., 2021).

Örneklerin TGA analiz sonuçları ve termogramları Tablo 4.5. ve Şekil 4.10.'da verilmiştir. Örneklerin hepsi iki aşamada ağırlık kaybı sergilemişlerdir. Şekil incelendiğinde, 100 °C'nin altındaki sıcaklıklarda örneklerde az bir ağırlık kaybı gözlemlenmiş ve bu durum örneklerde bulunan suyun uzaklaşmasından kaynaklanmıştır. Örneklerin kütlelerinde ikinci ve esas önemli azalma 250-450 °C aralığında gözlemlenmiştir.

Tablo 4.5. Örneklerin TGA analiz sonuçları

	I. Aşama		II. Aşama		Kalıntı (%)
	T <sub>d1</sub>	Δw <sub>1</sub>	T <sub>d2</sub>	Δw <sub>2</sub>	
<b>SPI</b>	31.71	3.80	203.81	62.56	33.43
<b>SPINL</b>	28.10	5.69	170.00	85.98	8.07
<b>PVANL</b>	29.22	3.30	165.04	89.33	7.11

T<sub>d</sub>: Termal bozunma başlangıç sıcaklığı (°C), Δw: Ağırlık kaybı (%)



Şekil 4.10. Örneklerin TGA termogramları

SPI için ilk bozunma %3.80 ağırlık kaybıyla 31.71 °C'de başlarken, ikinci bozunma %62.56 ağırlık kaybıyla 203.81 °C'de başlamaktadır. 100 °C'nin altındaki ağırlık kaybı suyun eliminasyonuna ve proteinlerin kuaterner yapısının ayrışmasına atfedilebilirken, 100 °C'nin üzerindeki sıcaklıklar ise protein alt birimlerini denatüre eder ve elektrostatik, hidrofobik ve disülfid değişim bağlama mekanizmaları yoluyla protein agregası oluşumunu teşvik eder (Swain, vd., 2004). 203 °C'de ağırlık kaybı, esas olarak amino asitlerin peptid bağları arasındaki kovalent bağın bölünmesinden kaynaklanmaktadır. Daha fazla ısıtma,  $\alpha$  globulinlerin (2S),  $\beta$ -globulinlerin (11S) ayrışmasına ve alt birim ikincil yapısının açılmasına neden olur. SPI'de yüksek miktarda bulunan metiyonin ve sistein (kükürt içeren amino asitler) 220 ile 250 °C arasında ayrışır. 300 °C civarlarındaki devam eden ağırlık kaybı ise muhtemelen S–S, O–N ve O–O bağlantılarının bölünmesinden kaynaklanmaktadır (Saini, vd., 2018). SPI'nın TGA sonuçları Saini vd. (2018), Sharma ve Singh (2016) ve Yang vd. (2021) sonuçları ile uyumlu çıkmıştır. Yang vd. (2021) susam proteinlerinin TGA analizi sonucunda iki aşamalı ağırlık kaybı gerçekleştiğini bildirmişlerdir. İlk ağırlık kaybını, su buharlaşmasına ait olan 59.02 °C'de meydana geldiğini, ikinci ağırlık kaybının 182.58 °C'de meydana geldiğini ve bunun da proteinin ağırlık kaybına atfetmiştir.

PVA nanolifinin termostabilitesinin SPI ilavesiyle artırıldığı tespit edilmiştir. Termal stabilitenin iyileştirilmesi, PVA molekülündeki SPI ve hidroksil grubu arasındaki çapraz bağlanmaya bağlanabilir (Hong, vd., 2021). Sonuçlar, PVANL ve SPINL numunelerinin iki ağırlık kaybı aşamasına sahip olduğunu göstermiştir: (1) 100 °C'nin altında emilen nemin buharlaşması, (2) 250 ve 400 °C'ye PVA'nın yan

gruplarında ester bağının kopması ve dehidrasyon ve 400 °C'de başlayan ana PVA zincirinin bozulması şeklinde yorumlanabilir (Shi, vd., 2018).

Gautam vd. (2021) PVA nanolifinin ilk ağırlık kaybını 100-150 °C arasında belirlemiş ve bunu numunelerin su içeriğinin uzaklaşmasında bağlamışlardır. Bununla birlikte, büyük olasılıkla polimer zincirlerinin yapısal parçalanmasından dolayı nanolifler için ana ağırlık kayıplarını ise 250-500 °C aralığında gözlemlemişlerdir. More vd. (2021) çalışmasında PVA polimerinin TGA grafiği, su buharlaşmasına bağlı olarak 38 °C ve 100 °C arasında meydana gelen ilk aşama ile toplamda üç bozunma aşamasını gösterir. İkinci aşama için PVA yan zincirinin ayrışma aşaması 243 °C civarında meydana gelmiştir. 400 °C ile 500 °C arasındaki üçüncü aşama, %6'lık bir ağırlık kaybıyla PVA ana zincirinin (hidrolize edilmemiş vinil asetat grubu) kaybindan kaynaklandığını belirtmişlerdir.

#### **4.5. Tahinde Depolama Analizleri**

##### **4.5.1. Ayrılan Yağ Miktarının Belirlenmesi**

Tahin, fıstık ve badem ezmesi gibi yüksek yağ içeren ürünlerde, yüksek yağ içeriği nedeniyle, ürünün stabilitesi depolama sırasında özellikle düşüktür. Bu tür macun ürünlerindeki başlıca kalite sorunları, ürünün raf ömrünü büyük ölçüde belirleyen oksidatif acılaşıma ve yağ ayrışması ile ilişkilidir (Capanoglu ve Boyacioglu, 2008). Tahin, kimyasal bozulma reaksiyonlarına göre rafta stabil olmasına rağmen, kolloidal kararsızlığı depolama sırasında ana problemdir (Gorrepati, vd., 2015). Hem partikül boyutu hem de depolama sıcaklığı, tahin stabilitesi üzerinde önemli etkiye sahiptir. Daha büyük partikül boyutlarına sahip (ortalama partikül boyutu 129.11 µm) tahin, daha küçük boyutlu olanlara göre (ortalama partikül boyutu 14.23 µm) stabilitesini daha yüksek oranda kaybetmiştir. Depolama sıcaklığı arttıkça (20 ila 40 °C), yüksek sıcaklıktaki yağın düşük viskozitesi nedeniyle numunelerin kolloidal stabilitesi azalmıştır (Çiftçi, vd., 2008).

Literatürde tahinin kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır (Akbulut ve Çoklar, 2008; Al-Nabulsi, vd., 2014; Hou, vd., 2018; Olaimat, vd., 2017; Osaili ve Al-Nabulsi, 2016; Rababah, vd., 2017; Tounsi, vd., 2019). Ancak tahinde yağ ayrılması sorunu üzerine yapılan çalışmalar sınırlıdır. Son araştırmalar, doğal mumlar, lifler ve emülgatörler gibi bazı gıda katkı maddelerinin tahindeki emülsiyon stabilitesini iyileştirebileceğini göstermektedir (Al-

Mahasneh, vd., 2017; Başdoğan, 2016; ifti, vd., 2008; Evlogimenou, vd., 2017; Hou, vd., 2020; Ogotcu, vd., 2018). Emülgatörler, emülsiyon oluşumunu ve stabilizasyonunu desteklemek için yağ açısından zengin gıdalarda yaygın olarak kullanılan yüzey aktif maddelerdir (Orthofer, 2008).

Farklı katkılar ilave edilerek ve katkı katılmadan depolanan tahinlerde depolama esnasındaki ayrılan yağ değerlerine ait sonuçlar Tablo 4.6.'da verilmiştir. %1 SPI katılan rnekler ‘‘SPI-1’’, %2 SPI katılan rnekler ‘‘SPI-2’’, %1 SPINL katılan rnekler ‘‘SPINL-1’’ ve %2 SPINL katılan rnekler ‘‘SPINL-2’’ olarak adlandırılmıştır. Ayrıca katkısız rnekler ‘‘Kontrol’’ ve pozitif kontrol grubu olarak değerlendirilen %1 PVANL katılan örnekler ise ‘‘PVANL’’ olarak adlandırılmıştır.

Tablo 4.6. Tahin rneklerinin farklı zamanlardaki ayrılan yağ miktarları

Muamele	Ayrılan yağ miktarı (%)		
	30. Gün	60. Gün	90. Gün
Kontrol	4.80±0.46 <sup>bc</sup>	12.96±0.14 <sup>ab</sup>	16.29±1.27 <sup>aA</sup>
SPI-1	3.83±0.42 <sup>bc</sup>	10.11±1.45 <sup>bB</sup>	14.91±0.21 <sup>abA</sup>
SPI-2	3.83±0.16 <sup>bc</sup>	9.76±0.45 <sup>bB</sup>	14.36±0.89 <sup>bA</sup>
SPINL-1	5.63±0.18 <sup>bc</sup>	8.07±0.55 <sup>bcB</sup>	10.30±0.10 <sup>cA</sup>
SPINL-2	5.54±0.85 <sup>b</sup>	6.27±1.73 <sup>c</sup>	6.03±0.49 <sup>e</sup>
PVANL	7.58±1.34 <sup>a</sup>	7.82±1.56 <sup>bc</sup>	7.79±0.59 <sup>d</sup>

<sup>a-e</sup> Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir, <sup>A-</sup>

<sup>C</sup> Aynı satırdaki farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir, Sonuçlar ortalama değer ± standart sapmadır.

Farklı çeşit ve oranlarda katkı maddeleri ilave edilmiş tahinlerde aynı günlerdeki kontrol grubu (katkısız) rneklerine göre daha az bir yağ ayrılması grlmştir. Sadece 30. gün örneklerinden nanolif ilave edilen örnek gruplarında kontrol grubuna göre yüzeyde daha fazla yağ birikmesi grlmştir. Elde edilen bu değerlerin kontrol grubu tahin örneklerine kıyasla farklı zamanlardaki muamelelerin ayrılan yağ miktarı değişimine (nleyici) etkileri denklem 3.11'e göre hesaplanmış olup Tablo 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.7. Kontrol grubu tahin örneklerine kıyasla farklı zamanlarda muamelelerin ayrılan yağ miktarı değişimine etkileri

Muamele	nleyici Etki (%)		
	30. Gün	60. Gün	90. Gün
SPI-1	20.32±8.69 <sup>a</sup>	22.03±11.19 <sup>b</sup>	8.47±1.30 <sup>d</sup>
SPI-2	20.21±3.24 <sup>a</sup>	24.73±3.44 <sup>b</sup>	11.85±5.47 <sup>d</sup>
SPINL-1	-17.19±3.68 <sup>ab</sup>	37.73±4.26 <sup>abA</sup>	36.77±0.61 <sup>cA</sup>
SPINL-2	-15.42±17.68 <sup>ab</sup>	51.62±13.31 <sup>aA</sup>	63.02±2.99 <sup>aA</sup>
PVANL	-57.92±27.99 <sup>bb</sup>	39.66±12.01 <sup>abA</sup>	52.21±3.61 <sup>bA</sup>

<sup>a-d</sup> Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir, <sup>A-</sup>

<sup>B</sup> Aynı satırdaki farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir, Sonuçlar ortalama değer ± standart sapmadır.

Elde edilen değerler katkıların kontrol grubuna kıyasla yağ ayrılmasını, çalışmadan beklenildiği gibi %8.63-63.02 seviyelerinde azalttığı belirlenmiştir. Nanolif ilave edilen örneklerde ise 30. gün sonuçlarında kontrole göre ayrılan yağ miktarının daha fazla olduğu ve kontrole göre etkinin negatif yönde olduğu görülmektedir. Kontrol grubuna göre nanolif katkıların, ayrılan yağ miktarlarını arttırmasının nedeni ise 30 gün sonunda nanoliflerin henüz çözünmediğinden dolayı etkileşime giremeyip yağ ayrılmasını önleyemediği düşünölmektedir. Aksine nanoliflerin çözünmediğinden dolayı hacim artışı sağlaması ile tahin içerisinde ve yüzeyinde baskıyı arttırıp daha fazla yağın ayrışmasına neden olmuş olabilir.

Depolama süresi 60. güne ulaştığında tüm örneklerde ayrılan yağ miktarı artış gösterirken, hem SPI hem de nanolif katkılarının ayrılan yağ miktarını azaltıcı etkisinin de arttığı görölmektedir. 90. gün itibari ile SPINL-2 ve PVANL örnekleri haricinde diğer örneklerde ayrılan yağ miktarı artış göstermiştir. SPINL-2 ve PVANL örneklerinde ise 90. gün sonu itibari ile 60. gün örneklerine kıyasla ayrılan yağ miktarının azalmasının nedeni susam proteini içeren nanoliflerin ve PVA nanoliflerin yağ adsorpsiyonunun iyi olmasına bağlanabilir. Kontrol gruplarına kıyasla ayrılan yağ miktarına en fazla azaltıcı (önleyici) etki yapan iki örnek 90. güne ait SPINL-2 (%63.02) ve PVANL (%52.21) örnekleridir. Ayrıca tablolardan göröldüğü gibi 90. güne ait SPI-1, SPI-2 ve SPINL-1 örneklerinin 60. güne kıyasla ayrılan yağ oranını azaltıcı etkisi ise azalarak sırasıyla %8.47, %11.85 ve %36.77 olarak bulunmuştur. Bunun nedeni ise Hou vd. (2020) çalışmasında belirttiği gibi tahinlerin yağ ayrımının 60 günlük depolama süresi içinde önce hızla artması daha sonra ise yağ ayrımının yavaşlamasının olduğu düşünölmektedir. Mevcut çalışmanın sonuçları Hou vd. (2020) ve Yetkin (2019) çalışmalarıyla uyumlu şekilde olarak tahinlerde yağ ayrılması önce 60. güne kadar hızla artmakta ve sonrasında ise daha yavaş olarak yağ ayrılması devam etmektedir.

Farklı zaman ve muamele uygulanan tahin örneklerinin ayrılan yağ miktarlarına ve ayrılan yağ miktarı değişimindeki etkilere ait varyans analizi sonuçları Tablo 4.8.'de verilmiştir. Tablodan da göröldüğü gibi, zaman, muamele ve zaman x muamele interaksiyonunun örneklerin ayrılan yağ değeri üzerine çok önemli ( $p<0.01$ ) etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde örneklerin ayrılan yağ miktarı değişimine etkisi üzerine zaman ve zaman x muamele interaksiyonunun çok önemli ( $p<0.01$ ), muamelenin ise önemli ( $p<0.05$ ) etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.8. Farklı zaman ve muamele uygulanan tahin örneklerinin ayrılan yağ miktarlarına ve ayrılan yağ miktarı değişimindeki etkilere ait varyans analizi sonuçları

	Varyasyon Kaynakları	Sd	KO	F
Ayrılan yağ miktarı	Zaman	2	125.629	161.297**
	Muamele	5	20.680	26.551**
	Zaman x Muamele	10	14.613	18.761**
	Hata	18	0.779	
Ayrılan yağ miktarı değişimine etki	Zaman	2	6693.866	58.185**
	Muamele	4	386.260	3.358*
	Zaman x Muamele	8	1584.474	13.773**
	Hata	15	115.044	

Sd: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, \*\*: p<0.01, \*: p<0.05

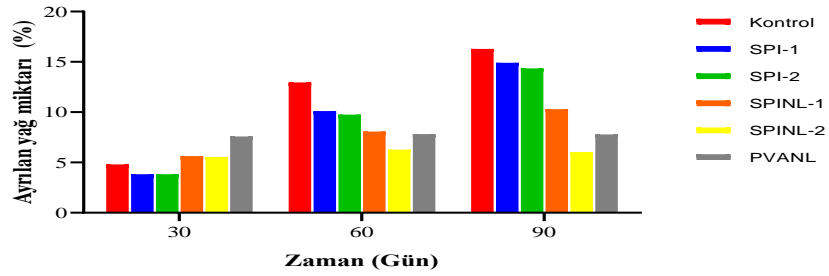
Ogutcu vd. (2018) tahinlerde faz ayrılmasını önlemek ve sürülebilir susam ezmesi ürünleri hazırlamak için ticari olarak elde edilen tahine belirli konsantrasyonlarda ayçiçeği mumu (% 1 ve 3) ve balmumu (% 1, 3 ve 5) ilave etmişler ve numuneleri 21 gün boyunca 25 ve 35°C'de depolamışlardır. Balmumu ve ayçiçeği mumu katkılı numunelerin, sade tahin (kontrol) ile karşılaştırıldığında daha düşük yağ sızıntı değerlerine sahip olduğunu belirlemişlerdir. Hou vd. (2020) depolama işlemi sırasında, depolama süresinin artmasıyla tahinin koloidal stabilitesinin azaldığını, asit ve peroksit değerlerinin arttığını bildirmişlerdir. Tahinin sırasıyla 40 °C'de 30 günden, oda sıcaklığında 60 günden veya 4°C'de 120 günden fazla saklanmamasını önermişler ve uygun antioksidanların eklenmesinin, depolama süresini uzatmak için iyi seçeneklerden biri olabileceğini ve daha fazla araştırma yapılması gerektiğini rapor etmişlerdir. Tahinlere lesitin ilave edilmesinin, benzer şekilde tahinde yağ ayrılmasını geciktirdiği ve azalttığı belirlenmiştir (Başdoğan, 2016).

Nanoliflerin SEM görüntülerinde birbirine çapraz olarak düzenlendiğini, toplanan nihai mat üzerinde rastgele dağıldığını ve dokumasız bir ağ oluşturduğunu bildirilmiştir. Bu rastgele çapraz geçiş permütasyonları, lifler arasında çok sayıda birbirine bağlı boşluklar/gözenekli yapılar oluşturmuştur. Birbirine bağlı boşluklar/gözenekli yapılar, daha fazla adsorpsiyon bölgesi sağladıkları için adsorpsiyon etkisi için faydalıdır (Ge, vd., 2021). Buna göre yağ ayrılması üzerine nanoliflerin izolattan daha fazla önleyici/azaltıcı etkisinin olması anlaşılmaktadır. Ge vd. (2021) yaptıkları çalışmada PVA membranının mükemmel lipofilik özelliklere sahip olduğunu, güçlü yapışma sağladığını ve membran yüzeyine daha fazla yağ damlasının yaklaşmasını sağladığını tespit etmişlerdir.

Bu gelişmelere ilave olarak PVA lifine SPI eklenmesi ile elde edilen SPINL örneklerinin yağ ayrışmasını daha fazla önlediği görülmektedir. İlk olarak, SPI

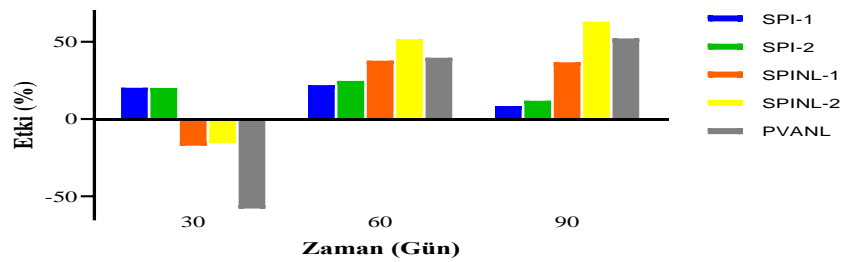
ilavesinin PVA nanoliflerinin morfolojisi ve lif çapı üzerinde belirgin etkileri olduğu söylenebilir. PVA nanoliflerinin ortalama çapı azalmış, 357.4 nm'den 217.6 nm'ye düşmüştür. SPI ilavesi ile PVA nanolifleri içinde nokta-bağlanma yapıları yoğun bir şekilde gözlemlenmekte (Şekil 4.6.) ve bunun lifin mekanik özelliklerini geliştirmesine neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, SPI ilavesi ile PVA nanoliflerinin termostabilitesinin önemli ölçüde iyileştiği ve farklı bozunma sıcaklıkları gösterdiği bulunmuştur (Shi, vd., 2018). Tüm bu nedenlerden dolayı da SPINL ilavesi tahinde yağ ayrılmasını önleyen en etkili katkı olmuştur.

Çalışmada istatistiksel olarak çok önemli ( $p < 0.01$ ) bulunan zaman x muamele interaksyonunun örneklerin ayrılan yağ değerleri ve ayrılan yağ miktarını önleyici etkisi üzerine olan etkisi sırasıyla Şekil 4.11.'de ve Şekil 4.12.'de verilmiştir. Şekil 4.11'den de görüldüğü gibi örneklerin ayrılan yağ miktarları zaman ile artmış ve en yüksek ayrılan yağ miktarları 90. güne ait örneklerde belirlenmiştir.



Şekil 4.11. Zaman x muamele interaksyonunun tahin örneklerinin ayrılan yağ miktarı üzerine etkisi

Şekil 4.12 incelendiğinde 30. güne ait nanolif ilave edilen tahinlerde kontrole göre ayrılan yağı artırıcı etkisinin olduğu görülmektedir. Ayrıca zaman ilerledikçe katkıların ayrılan yağ miktarını azaltıcı etkisinin artması çalışmanın amacıyla bağdaşmakta ve kontrole göre %50'nin üzerinde yağ ayrılması önlenebilmektedir.



Şekil 4.12. Zaman x muamele interaksyonunun tahin örneklerinin ayrılan yağ miktarı değişimi üzerine etkisi

#### 4.5.2. Reoloji Analizi

Reoloji, maddelerin akışı ve deformasyonu ile özellikle katılar ve akışkanlar arasındaki geçici alandaki davranışlarıyla ilgilenen bilim dalıdır. Ayrıca, reoloji, belirli bir malzemeye etki eden gerilim ile meydana gelen deformasyon ve/veya akış arasındaki ilişkiyi tanımlamaya çalışır. Reolojik ölçümler, hammaddenin işlenmeden önce fiziksel karakterizasyonu için bir araç olarak, üretim sırasında ara ürünler için ve hazır gıdalar için gıda endüstrisinde oldukça önemlidir. Reoloji biliminin gıda işleme, gıda ambalajlama ve gıda kabul edilebilirliği alanlarında birçok uygulaması bulunmaktadır. Bununla birlikte, gıdalar yapısal ve reolojik olarak karmaşık malzemelerdir ve çoğu durumda sıvı yapısal bileşenlerin yanı sıra katıların karışımlarından oluşurlar (Tabilo-Munizaga ve Barbosa-Cánovas, 2005).

Reoloji, tüm malzemelerin uygulanan kuvvetlere ve deformasyonlara nasıl tepki verdiğini ve bunun zamanın bir fonksiyonu olarak ölçülmesiyle ilgilenir. Gerilme (alan başına kuvvet) ve gerinim (uzunluk başına deformasyon) ile ilgili temel kavramlar, tüm reolojik değerlendirmelerin anahtarıdır (Tabilo-Munizaga ve Barbosa-Cánovas, 2005). Viskozite, bir akışkanın iç sürtünmesi veya akışa direnme eğilimi olarak tanımlanır. Hem gazların hem de sıvıların viskozitesi vardır. Görünür viskozite ise Newton tipi olmayan bir akışkanın sanki Newton tipi bir akışkanmış gibi ifade edilen viskozitesidir. Akışkan Newton yasasına uyuyormuş gibi ampirik verilerden hesaplanan bir katsayıdır (Bourne, 2002). Newtonyen olmayan akışlar için matematiksel modeller uygulanmaktadır. Bunlardan yaygın olanı Ostwald-de Waele modelidir ve bu model ile kıvam katsayısı (K), akış davranış indeksi (n) ile korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) elde edilir (Kurt, 2017). Akış davranış indeksi, bir sıvının sözde esneklik derecesini yansıtır ve n değerleri 1'e ne kadar uzaksa, Newton akış davranışından daha büyük sapma olur (Hou, vd., 2018). Reolojik parametrelerin uygulanan modele uygunluğunu  $R^2$  değerlerinin 1'e yakın olması göstermektedir.

Farklı muamele ve farklı zamanların tahin örneklerinin görünür viskozite değeri ve Ostwald de Waele modeli ile elde edilen parametreler Tablo 4.9.'da verilmiştir. Çalışma sonucunda tahin örneklerinin Newtonyen olmayan psödoplastik bir sıvı gibi davrandığı tespit edilmiştir. Yapılan diğer çalışmalarda da tahinlerin psödoplastik özellik gösterdiği bildirilmiştir (Akbulut ve Çoklar, 2008; Çiftçi, vd., 2008; Hou, vd., 2018; Lokumcu Altay ve Ak, 2005).

Tablo 4.9. Tahin örneklerinin steady shear akış davranış özelliklerine ait reolojik sonuçlar

Muamele	Zaman	$\eta_{50}$ (Pa.s)	K (Pa.s <sup>n</sup> )	n	R <sup>2</sup>
<b>Kontrol</b>	0. Gün	1.11±0.09 <sup>bb</sup>	1.47±0.11 <sup>bb</sup>	0.931±0.00 <sup>aA</sup>	0.9999
	30. Gün	1.42±0.32 <sup>cB</sup>	1.97±0.48 <sup>cB</sup>	0.920±0.00 <sup>aA</sup>	0.9999
	60. Gün	3.27±0.02 <sup>AB</sup>	5.60±0.17 <sup>AB</sup>	0.857±0.01 <sup>abAB</sup>	0.9987
	90. Gün	5.61±1.74 <sup>aA</sup>	11.26±4.74 <sup>bA</sup>	0.797±0.06 <sup>bb</sup>	0.9668
<b>SPI-1</b>	0. Gün	1.65±0.03 <sup>abB</sup>	2.77±0.23 <sup>bb</sup>	0.855±0.01 <sup>a</sup>	0.9910
	30. Gün	2.21±0.03 <sup>abAB</sup>	6.03±2.84 <sup>aAB</sup>	0.776±0.10 <sup>b</sup>	0.9462
	60. Gün	3.32±1.87 <sup>AB</sup>	5.93±3.29 <sup>AB</sup>	0.845±0.00 <sup>ab</sup>	0.9958
	90. Gün	4.87±1.04 <sup>aA</sup>	10.02±1.44 <sup>bcA</sup>	0.808±0.02 <sup>b</sup>	0.9894
<b>SPI-2</b>	0. Gün	2.20±0.79 <sup>aB</sup>	8.56±4.66 <sup>aB</sup>	0.677±0.11 <sup>bAB</sup>	0.8781
	30. Gün	2.81±0.28 <sup>aB</sup>	5.21±0.01 <sup>abB</sup>	0.830±0.03 <sup>abA</sup>	0.9676
	60. Gün	4.22±1.79 <sup>AB</sup>	9.43±3.68 <sup>B</sup>	0.779±0.01 <sup>bAB</sup>	0.9793
	90. Gün	6.26±0.71 <sup>aA</sup>	23.06±3.10 <sup>aA</sup>	0.649±0.00 <sup>cB</sup>	0.8758
<b>SPINL-1</b>	0. Gün	1.42±0.38 <sup>abB</sup>	2.34±0.91 <sup>bBC</sup>	0.863±0.05 <sup>a</sup>	0.9958
	30. Gün	1.29±0.08 <sup>cB</sup>	1.78±0.09 <sup>cC</sup>	0.918±0.00 <sup>a</sup>	0.9998
	60. Gün	2.45±0.09 <sup>A</sup>	3.72±0.37 <sup>AB</sup>	0.889±0.02 <sup>a</sup>	0.9996
	90. Gün	2.67±0.26 <sup>bA</sup>	4.17±0.48 <sup>cdA</sup>	0.882±0.00 <sup>a</sup>	0.9991
<b>SPINL-2</b>	0. Gün	1.35±0.21 <sup>ab</sup>	1.94±0.23 <sup>b</sup>	0.908±0.01 <sup>a</sup>	0.9994
	30. Gün	1.35±0.53 <sup>c</sup>	1.82±0.68 <sup>c</sup>	0.925±0.00 <sup>a</sup>	0.9998
	60. Gün	1.60±0.92	2.38±1.51	0.900±0.03 <sup>a</sup>	0.9994
	90. Gün	2.40±0.25 <sup>b</sup>	3.59±0.37 <sup>d</sup>	0.892±0.00 <sup>a</sup>	0.9995
<b>PVANL</b>	0. Gün	1.46±0.03 <sup>ab</sup>	2.35±1.14 <sup>b</sup>	0.877±0.03 <sup>a</sup>	0.9979
	30. Gün	1.96±0.14 <sup>bc</sup>	2.84±0.30 <sup>bc</sup>	0.903±0.02 <sup>a</sup>	0.9997
	60. Gün	3.55±2.69	6.47±5.63	0.850±0.06 <sup>ab</sup>	0.9953
	90. Gün	2.60±0.18 <sup>b</sup>	4.06±1.19 <sup>cd</sup>	0.886±0.01 <sup>a</sup>	0.9998

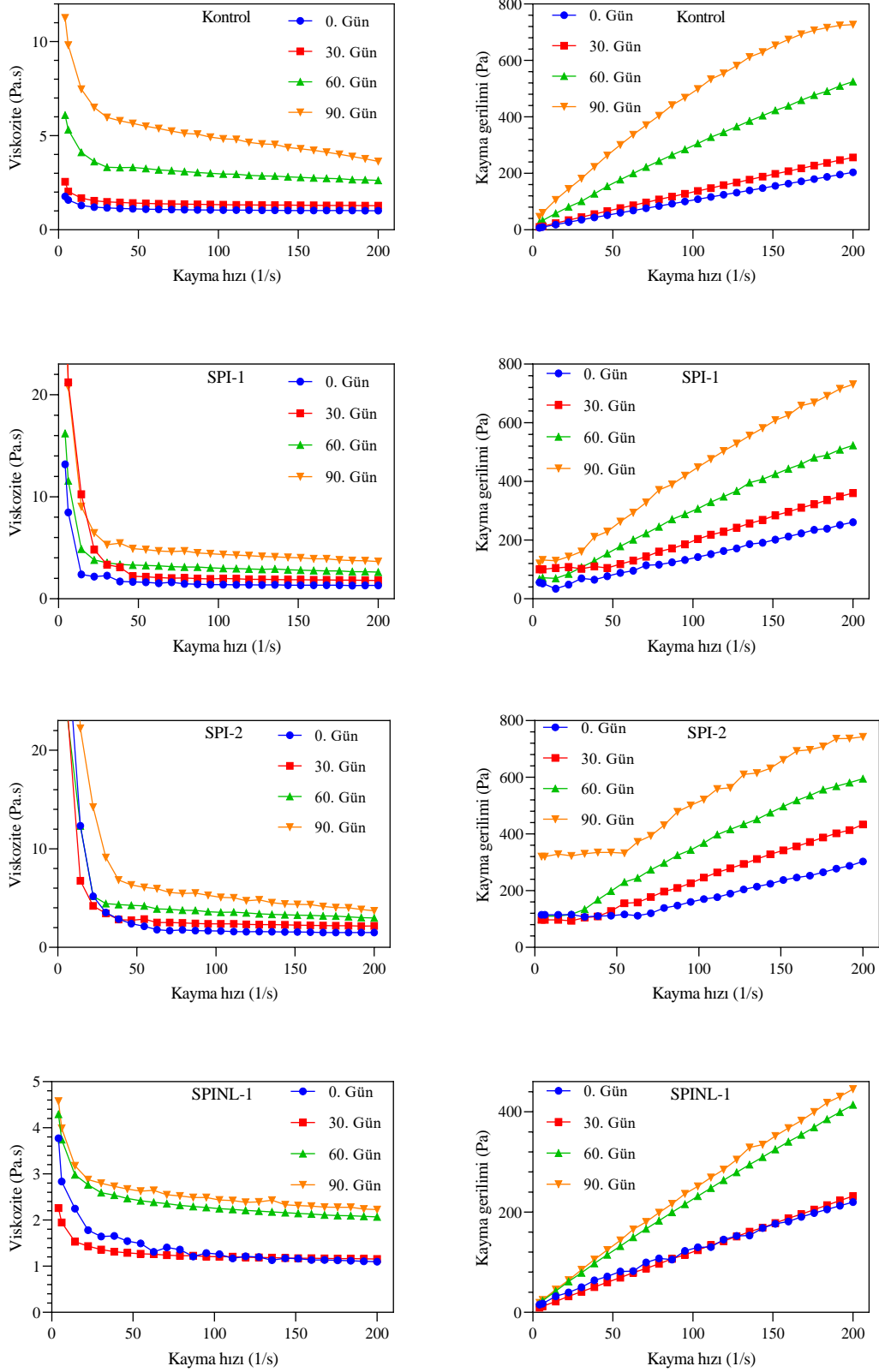
<sup>a-d</sup> Aynı sütundaki aynı zamandaki farklı muamelelere ait sonuçlarda farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir, <sup>A-C</sup> Aynı sütundaki aynı muamelelerdeki farklı zamanlara ait sonuçlarda farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir, Sonuçlar ortalama değer ± standart sapmadır.

Tahin örneklerinin görünür viskozitesi 1.11-6.26 Pa.s arasında değişmiştir. Örneklerin görünür viskozite değeri zaman geçtikçe artış göstermiştir. En yüksek viskozite değerleri 90. güne ait tahinlerde görülürken, protein izolatu ilavesi de viskoziteyi en fazla arttıran muamele olmuştur. Zaman ve farklı katkıların örneklerin görünür viskozite üzerine çok önemli ( $p<0.01$ ) etkisi olmuştur. Kontrole kıyasla SPINL örneklerinin 0. gün haricinde viskozite değerleri düşmüştür. Bu durumun nedeni olarak ayrılan yağ oranının kontrole göre düşük olması düşünülmektedir. Ayrıca, ayrılan yağ miktarını en fazla önleyen katkı olduklarından dolayı partiküllerin bir araya gelmesi daha az görüldüğünden viskozite çok fazla bir artış göstermemiştir. Parçacıklar sürekli fazın bir kısmını çevreleyen ve hareketsizleştiren topaklar oluşturduğunda bir süspansiyonun viskozitesinin arttığı bilinmektedir (Lokumcu Altay ve Ak, 2005). Bu bilgiye dayanarak mevcut çalışmada zaman geçtikçe viskozitenin artmasının nedeni anlaşılabilir.

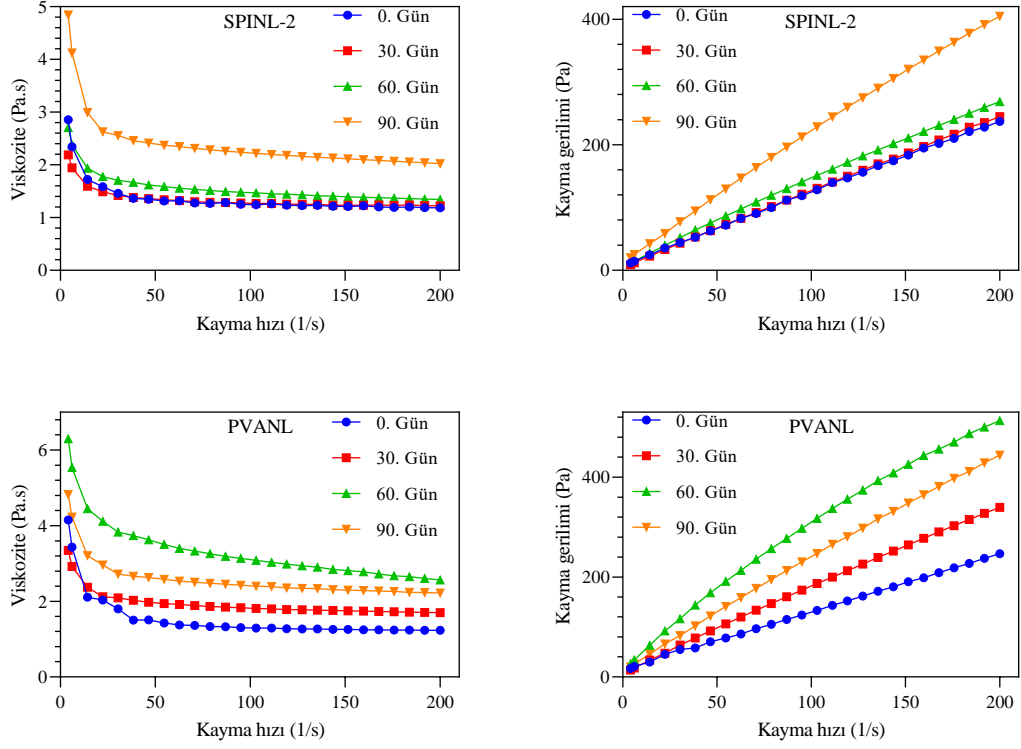
SPI ilavesinin görünür viskoziteyi arttırdığı görülmektedir. Bu bulgular, SPI'nın koyulaştırıcı veya bağlayıcı olarak hareket ettiğini ve bunun kolloidal sistemde daha az serbest yağ partiküllerine yol açabileceğini ve dolayısıyla ayrılan yağ miktarını azalttığını ortaya koymaktadır (Al-Mahasneh, vd., 2017).

Sonuçlar, SPI ve nanoliflerin ilave edildiğinde tahinin viskozitesinin hem artmasının hem de azalmasının, yağ ayrışmasını önlemenin ana nedeni olmayabileceğini göstermiştir. Diğer bir deyişle, SPI ve nanoliflerin emülsifiye edici ve bağlayıcı özellikleri, tahin viskozitesi üzerindeki etkilerinden çok, yağın ayrışmasını önlemede daha önemli bir rol oynamıştır. Katkıların dahil edilmesinin tahinin reolojik özellikleri üzerindeki farklı etkisi, katı hacim oranı, parçacık boyutu ve parçacık etkileşiminin gücü gibi parametrelerdeki olası farklılıklara atfedilmelidir (Evlogimenou, vd., 2017).

Katkı ilave edilmiş örnekler ile kontrol tahin örneklerinin kayma gerilimine ( $\tau$ ) karşı kayma hızı ( $\dot{\gamma}$ ) grafikleri ve akış grafikleri Şekil 4.13.'de sunulmuştur. Akış eğrileri, tüm numuneler için artan kayma hızlarıyla birlikte kayma geriliminin doğrusal olmayan bir şekilde arttığını göstermiştir. PVANL örnekleri haricinde tüm örneklerde aynı kayma hızında daha fazla kayma gerilimi 90. gün için görülmektedir. Bu sonuç da göstermektedir ki tahindeki yağ molekülleri ve diğer parçacıklar arasındaki etkileşimin artması gerekli gerilimi arttırmıştır.



Şekil 4.13. Tahin örneklerinin kayma gerilimine ( $\tau$ ) karşı kayma hızı ( $\dot{\gamma}$ ) grafikleri ve akış grafikleri



Şekil 4.13. (Devam)

Şekil 4.13'deki grafikler incelendiğinde kayma hızına bağlı olarak viskozite değerleri düşmüştür ve Newtonyen olmayan akış tipi bütün tahin örnekleri için gözlenmiştir. Tahin için bu akış tipi beklenen bir özelliktir ve sonuçlar literatür ile uyum içerisinde (Evlogimenou, vd., 2017; Hou, 2017; Hou, vd., 2018; Lokumcu Altay ve Ak, 2005). Çünkü tahin için kayma hızının artmasıyla görünen viskozitenin azalması, tahinin moleküler yapısı üzerindeki kesme etkisinin bir göstergesidir. Diğer bir deyişle, gıda biyopolimerlerinin yani yağların moleküler yapısını etkileyen geri dönüşü olmayan, kayma kaynaklı ve kalıcı bir hasar vardır (Abu-Jdayil, vd., 2002).

Örneklerin K değerleri 1.47-23.06 Pa.s<sup>n</sup> arasında değişmektedir. n değerlerinin ise 0.649-0.931 aralığında değişmektedir ve n değerlerinin bu aralıkta değişim göstermesi tüm tahin örneklerinin psödoplastik karaktere sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Farklı zaman ve muamelelerin tahinin reolojik özellikleri üzerine çok önemli etkisi (p<0.01) bulunmaktadır. En yüksek K değeri SPI ilave edilen tahinlerde görülmüştür. Ayrıca elde edilen bu değerleri en iyi Ostwald de Waele (denklem 3.12) modeli tanımlamaktadır. SPI-2 örnekleri haricinde korelasyon katsayıları (R<sup>2</sup>) 0.9462-

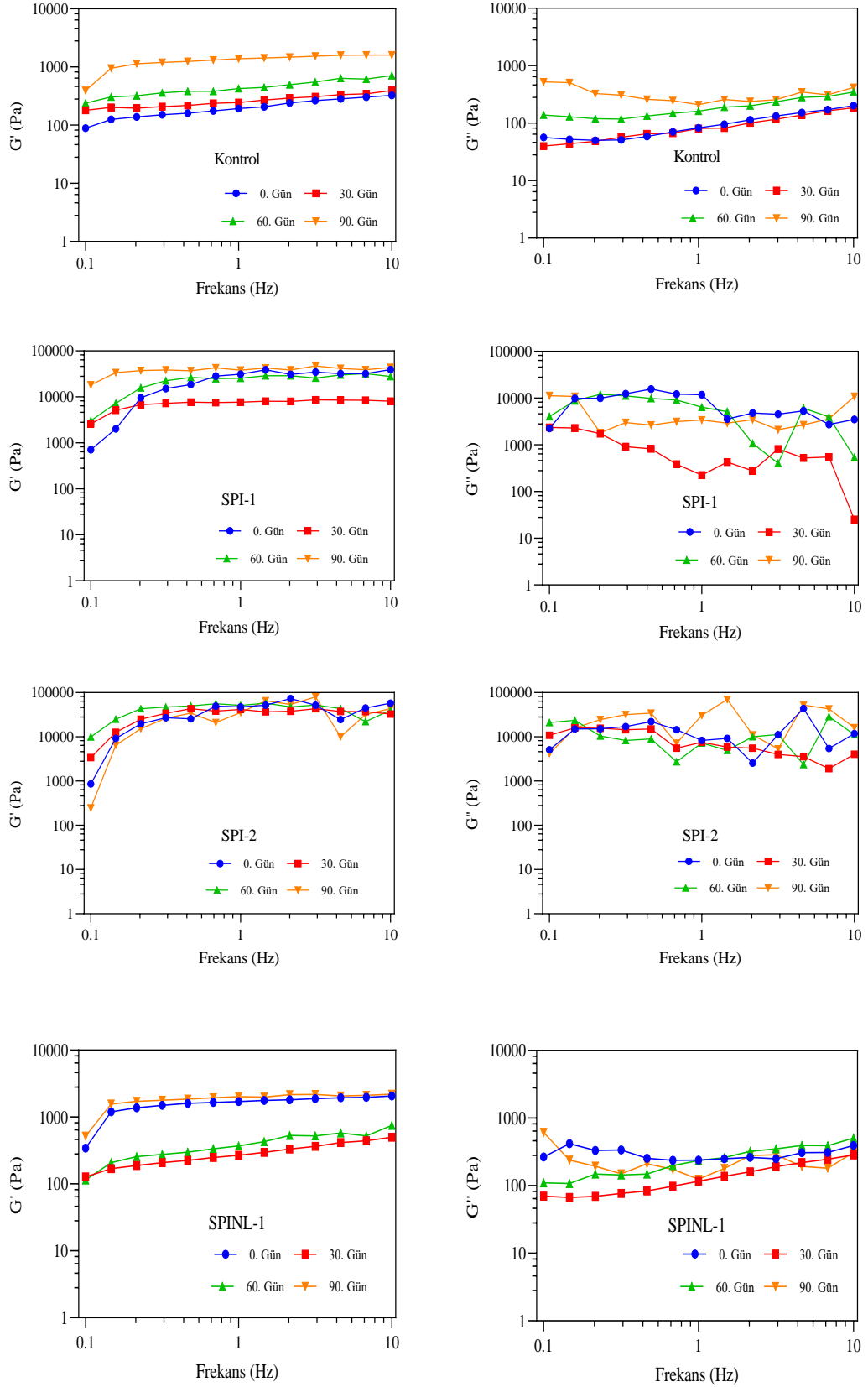
0.9999 arasında değişim göstermektedir. SPI-2 örneklerinde de yine en uygun model Ostwald de Waele modelidir ( $R^2$ : 0.8758-0.9793).

Tahin örneklerinin kıvam katsayı değerleri zaman geçtikçe genellikle artmaktadır. Literatürde tahinlerin depolanması sırasında reolojik özelliklerde meydana gelen değişiklikleri bildiren referanslar bulunmaktadır. Lokumcu Altay ve Ak (2005) depolama boyunca K değerlerinde hafif bir düşüş ve n değerlerinde ise hafif bir artış görüldüğünü bildirmiştir. Ayrıca depolama sırasında tahinin K ve n değerlerinde gözlenen değişikliklerin partiküllerin agregasyonu gibi fiziksel (enzimatik veya kimyasaldan ziyade) olaylara bağlı olmasının daha olası olduğunu bildirmiştir. Hou vd. (2018) dokuz farklı tahin örneğinin K değerlerini 4.48-24.21 Pa.s<sup>n</sup> arasında, n değerlerini ise 0.67-0.81 arasında bulmuşlardır. Akbulut ve Çoklar (2008) farklı tahin örneklerinin K değerini en düşük 3.97 Pa.s<sup>n</sup>, en yüksek 28.08 Pa.s<sup>n</sup> olarak tespit ederken, en düşük n değerini 0.4587, en yüksek n değerini ise 0.6830 olarak belirlemişlerdir.

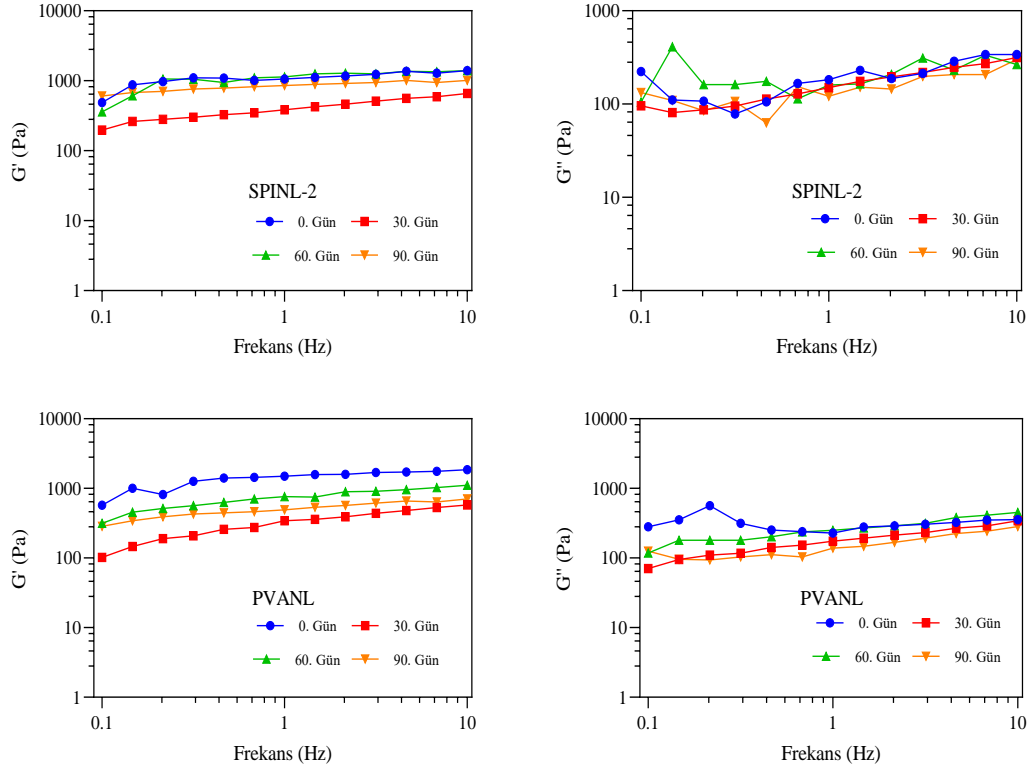
Tahinlerin viskoelastik özellikleri ile jel özelliklerini belirlemek ve malzemenin yapısı ve akış özellikleri hakkında daha detaylı bilgi edinebilmek için dinamik reolojik analizler yapılmıştır. Depolama modülü ( $G'$ ) ve kayıp modülü ( $G''$ ) frekans tarama testi ile frekansa bağlı olarak tespit edilir. Depolama modülü veya elastik modülü ( $G'$ ) materyalin depoladığı enerjinin bir ölçüsüyken, kayıp modül veya viskoz modülü ( $G''$ ) ise deformasyon sırasında yayılan/kaybolan enerjinin bir ölçüsüdür (Tadros, 1996).

Depolama modülü ( $G'$ ) ve kayıp modülü ( $G''$ ), gıda hammaddelerinin ve ürün kalitesinin değerlendirilmesinin yanı sıra işleme performansının tahmin edilmesi için önemli parametrelerdir.  $G' > G''$  ise, numuneler jellerin özelliklerini sergileyecek ve viskoelastik katılar gibi davranacak ve  $G' < G''$  ise numuneler akışkanların özelliklerini gösterecek ve elastik sıvılar gibi davranacaktır. Bir frekans taramasında, yüksek frekans alanının özellikleri, numunelerin kısa vadeli özelliklerini temsil edebilirken, düşük frekans alanının özellikleri, numunelerin uzun vadeli özelliklerini (depolama kararlılığı) yansıtabilir (Hou, vd., 2018).

Depolama ( $G'$ ) ve kayıp ( $G''$ ) modüllerinin frekansa bağlı grafikleri Şekil 4.14.'de verilmiştir. Tüm frekans boyunca  $G'$  değeri  $G''$  değerinden daha yüksek bir değişim sergilemiştir. Bu durum viskoz karakterden ziyade elastik özelliklerin daha baskın olduğunu ve örneklerin zayıf jeller olarak görülebileceğini göstermektedir.



Şekil 4.14. Depolama ( $G'$ ) ve kayıp ( $G''$ ) modüllerinin frekansa bağlı grafikleri



Şekil 4.14. (Devam)

Fakat ilave edilen katkıları ile modüller arası mesafe zaman zaman azalmışken zaman zaman artmıştır. Özellikle protein izolatının toz halde katıldığı tahinlerde modülüs değerlerinin artması gözlemlenmiştir. Bu durumun polimer zincirleri arası etkileşimin artmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Frekans tarama testlerinde materyalin viskoz ve elastik davranışının nasıl değiştiğini gözlemlemek mümkündür. Bu testte, frekans artırılırken giriş sinyalinin genliği ve sıcaklık sabit tutulur. Malzemeler genellikle daha yüksek frekanslarda daha yüksek katı benzeri karakterler sergilerler. Güçlü jellerde, modüller pratik olarak frekanstan bağımsızdır ve kesişmezler ( $G' > G''$  gibi). Ancak test zayıf jellerle yapıldığında frekans bağımlılığı meydana gelir (Geremias-Andrade, vd., 2016). Yang vd. (2013) farklı yağ hacmi fraksiyonları içeren soya proteini izolatının ve soya yağı emülsiyonu ile doldurulmuş jellerin frekans bağımlılığını araştırmışlardır. Tüm yağ hacmi fraksiyonları için, modüllerin pratik olarak frekanstan bağımsız olduğunu, kalıcı kovalent çapraz bağlarından dolayı enzimatik veya güçlü jellerin tipik bir davranışı olduğunu belirlemişlerdir.

Emülsiyon damlacıklarını stabilize etmek için kullanılan yüzey aktif maddeler ve jelleşmiş biyopolimerler farklıysa, aralarında afinite olmaması olasılığı daha

yüksektir ve o zaman partiküller, disülfid bağlarının olmaması, yüzey ve jel ağ matris arasında uygun hidrofobik etkileşimler ve elektrostatik etkileşimlerin olmaması nedeniyle aktif olmayan dolgu maddeleri olarak hareket edebilir. Bu durumda, aktif olmayan dolgu maddesinin hacim fraksiyonu ne kadar yüksek olursa, emülsiyonla doldurulmuş jel G' değeri o kadar düşük olur (Geremias-Andrade, vd., 2016). Fakat mevcut çalışmada ilave edilen katkılar tahinin hammaddesi susamdan elde edildiği için farklılık göstermemiş ve G' değerlerinde artış meydana gelmiştir.

Hou vd. (2018) mevcut çalışmayla uyumlu bir şekilde tahin örneklerinin hem G' hem de G'' değerlerinin artan frekansla arttığını ve G' değerleri viskoelastik katının tipik özelliklerini sergileyerek G'' değerlerinden daha büyük olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca ince partiküllere sahip tahin numunelerinin, elastik karakterlerden ziyade viskoz karakterler gösterme eğiliminde olduğunu ve iri partiküllere sahip olanların, daha yüksek G' değerlerine ve daha güçlü partikül-partikül etkileşimlerine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Hou (2017) elde ettiği sonuçlarda mevcut çalışmanın sonuçları ile benzer şekilde çıkmıştır. Tahin numunelerinin G' değerleri G'' değerlerinden daha yüksek bulunmuş ve bunun da bir jel davranışı ve bir viskoelastik katının özelliklerini gösterdiğini bildirmişlerdir.

Şekil 4.14 incelendiğinde G'', frekans değişiminden daha fazla etkilenmiş, örneklerin çoğunda düzensiz yükselişler ve düşüşler sergilemiştir. G'' değerlerinin frekansa daha fazla bağımlılığı, kovalent çapraz bağlı malzemelerle karakterize edilen gerçek jeller ile karmaşık ağlarla karakterize edilen konsantre süspansiyonlar arasında kalan "fiziksel jeller" veya "zayıf jeller" için tipik bir özelliktir (Bayod, vd., 2008).

#### **4.5.3. pH Analizi**

Tahin örneklerinin farklı zamanlardaki ortalama pH değerleri Tablo 4.10'da verilmiştir. pH değerleri 5.07-5.80 arasında değişen değerlerde tespit edilmiştir. Hammadde tahinin (Kontrol, 0. gün) pH değeri 5.77 olarak tespit edilmiştir. Depolama süresi uzadıkça pH'da az miktarda düşüş görülmektedir. Bu durumu Al-Nabulsi vd. (2014) tahin içerisinde devam eden fiziksel ve kimyasal değişimler sonucu asitlerin oluşmasından (karbonhidratların parçalanması gibi) kaynaklanmış olabileceğini bildirmişlerdir.

Tablo 4.10. Tahin örneklerinin farklı zamanlarda ortalama pH değerleri

Muamele	pH			
	0. Gün	30. Gün	60. Gün	90. Gün
Kontrol	5.77±0.02 <sup>aA</sup>	5.63±0.02 <sup>abA</sup>	5.24±0.19 <sup>bB</sup>	5.72±0.19 <sup>A</sup>
SPI-1	5.80±0.14 <sup>aA</sup>	5.70±0.03 <sup>aA</sup>	5.09±0.04 <sup>bB</sup>	5.72±0.13 <sup>A</sup>
SPI-2	5.61±0.11 <sup>abA</sup>	5.70±0.05 <sup>aA</sup>	5.25±0.21 <sup>bB</sup>	5.65±0.02 <sup>A</sup>
SPINL-1	5.41±0.01 <sup>c</sup>	5.40±0.43 <sup>abc</sup>	5.38±0.11 <sup>ab</sup>	5.60±0.07
SPINL-2	5.46±0.03 <sup>bcB</sup>	5.07±0.01 <sup>cC</sup>	5.64±0.04 <sup>aA</sup>	5.49±0.01 <sup>B</sup>
PVANL	5.36±0.01 <sup>cBC</sup>	5.17±0.10 <sup>bcC</sup>	5.64±0.03 <sup>aA</sup>	5.48±0.09 <sup>AB</sup>

<sup>a-c</sup> Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir, <sup>A-C</sup> Aynı satırdaki farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir, Sonuçlar ortalama değer ± standart sapmadır.

Tahinlere protein izolatu ilavesi pH değerlerini az miktarda yükseltmişken, depolama ile beraber bu değerler düşüş göstermiştir. Protein izolatında aspartik ve glutamik asitin baskın oluşu (Tablo 4.2.) bu durumu açıklamaktadır. Ayrıca 60. gün örnekleri haricinde ilave edilen katkıları kontrol örneklerine göre pH'yı düşürmüşlerdir. Tahin örneklerinin pH değerlerine zaman ve zaman x muamele etkisinin çok önemli ( $p < 0.01$ ) etkisi görülürken, muamelenin önemli ( $p < 0.05$ ) etkisi olmuştur (Tablo 4.11.).

Tablo 4.11. Farklı zaman ve muamele uygulanan tahin örneklerinin pH değerlerine ait varyans analiz sonuçları

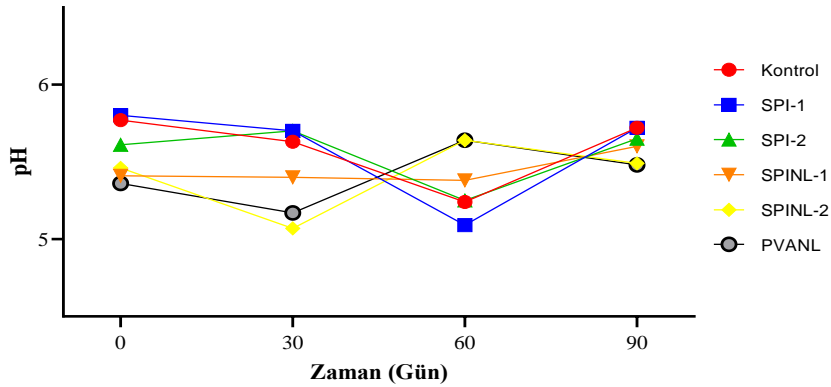
Varyasyon Kaynakları	Sd	KO	F
Zaman	3	0.142	8.524**
Muamele	5	0.055	3.292*
Zaman x Muamele	15	0.098	5.894**
Hata	24	0.017	

Sd: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, \*\*:  $p < 0.01$ , \*:  $p < 0.05$

Al-Nabulsi vd. (2014) yaptığı çalışmada kontrol grubu tahinin pH değerini 6.76 olarak tespit ederken, 21 °C'de 28 gün depolama sonunda pH değerinin düştüğünü ve 6.16 olarak tespit edildiğini rapor etmişlerdir. Çavuşoğlu (2017) tahinin pH değerini 6.56 olarak bulduğunu bildirmiştir. Mevcut çalışmada pH değerlerinin 6'dan düşük olmasının nedenleri arasında kullanılan hammadde susamın yetiştiği bölge, iklim gibi faktörlerden dolayı kimyasal kompozisyonunun farklılığından kaynaklanması olabilir. Bir diğer neden ise ilave edilen katkıların etkisidir. Benzer şekilde Karaman vd. (2017) tahinin pH değerini 6.50 olarak bulurken, pekmez ilave edilmiş tahinlerin pH değerlerini 5.99 ve 6.04 olarak belirlemişlerdir.

Şekil 4.15.'de zaman x muamele etkisinin tahin örneklerinin pH değeri üzerine etkisi gösterilmektedir. İnteraksiyonda muamelelere ait doğrular kesişmiş veya

kesiştir. Bu durum interaksyon etkisinin önemli olduğu görüünü desteklemektedir.



Şekil 4.15. Zaman x muamele interaksyonunun tahin örneklerinin pH değeri üzerine etkisi

#### 4.5.4. Zeta Potansiyelinin Belirlenmesi

Gıda matrisleri, birbirleriyle ve ortamla etkileşime giren elektrik yüklü parçacıklar içerir. Elektrik yükü etkileşimleri gıda yapısını, stabiliteyi, reolojik davranışı, çökmeyi, raf ömrünü, dokuyu, aromayı ve rengi önemli ölçüde etkiler. Gıda sistemlerindeki elektrik etkileşimlerinin incelenmesine izin veren en kullanışlı parametrelerden biri zeta potansiyelidir. Proteinlerin fonksiyonel özellikleri, çözünürlük, yüzey aktivitesi, konformasyonel stabilite, jelleşme, köpürme ve emülsifiye etme kapasitesi, polisakkaritlerle etkileşimlerinden etkilenir. Zeta potansiyeli, etkileşimlerin belirlenmesinde ve bileşiklerin toplanmasında önemli bir rol oynar (Cano-Sarmiento, vd., 2018).

Gıda sistemlerinde zeta potansiyeli değeri ile kolloid stabilitesi arasında ilişki kurulabilmektedir. Dispersiyonların zeta potansiyeli değeri oldukça kararsız ( $\pm 0-10$  mV), nispeten kararlı ( $\pm 10-20$  mV), orta derecede kararlı ( $\pm 20-30$  mV) ve yüksek düzeyde kararlı ( $> \pm 30$  mV) olarak sınıflandırılabilir (Bhattacharjee, 2016). Tahin örneklerinin farklı zamanlardaki zeta potansiyeli değeri Tablo 4.12’de sunulmuştur. Sonuçlara göre 0. gün kontrol tahin örneğinin zeta değeri -17.70 mV ile nispeten kararlı sınıfta değerlendirilmektedir. Bu durum tahinin zaman geçtikçe kolloidal stabilitesindeki kararsızlığının artması ve yağ ayrılmasını açıklayan göstergelerden biridir.

Tablo 4.12. Tahin örneklerinin farklı zamanlarda zeta potansiyeli değerleri

Muamele	Zeta potansiyeli (mV)			
	0. Gün	30. Gün	60. Gün	90. Gün
Kontrol	-17.7±0.21	-11.9±4.10	-18.1±1.34	-14.9±2.69
SPI-1	-18.3±1.98	-18.2±3.11	-17.5±3.04	-15.4±0.99
SPI-2	-18.0±1.27	-15.4±3.61	-16.5±1.84	-16.8±1.98
SPINL-1	-15.1±0.85	-13.4±4.03	-17.7±1.56	-16.1±0.92
SPINL-2	-17.4±0.14 <sup>B</sup>	-11.9±2.33 <sup>A</sup>	-19.1±0.07 <sup>B</sup>	-15.7±0.71 <sup>B</sup>
PVANL	-17.8±4.53	-15.4±0.07	-20.8±2.05	-15.7±0.21

<sup>A-B</sup>Aynı satırdaki farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir, Sonuçlar ortalama değer ± standart sapmadır.

Tahin örneklerinin zeta potansiyeli değerleri -20.8 ile -11.9 mV arasında değişmiştir. Tüm tahin örneklerinin nispeten kararlı sınıfında ( $\pm 10-20$  mV) yer aldığı söylenebilir (Bhattacharjee, 2016). İstatistiksel olarak ilave edilen katkıların tahinlerin zeta değerlerine etkisi önemsiz ( $p>0.05$ ) olarak belirlenmiştir. Fakat tablo incelendiğinde SPI ve nanolif ilavesi kontrol örneklerine göre az da olsa kararlılığı arttırmıştır. Bu durumun sonucu ayrılan yağ miktarlarını da etkilediği söylenebilir. Nanolif ilavesi örneklerin depolama süresi arttıkça elde edilen zeta değerlerini daha kararlı hale getirmiştir (-20.8 mV). Ayrılan yağ değerlerine bakıldığında nanolif katılan tahinlerde (30. gün hariç) miktarlar daha azdır. Diğer bir deyişle nanoliflerin koloidal stabiliteyi iyileştirdiği söylenebilir.

Süspansiyondaki partiküller, büyük mutlak negatif veya pozitif zeta potansiyeline sahipse, birbirlerini itme eğilimi gösterirler ve partiküllerin toplanması için herhangi bir eğilim gözlemlenmez, dolayısıyla iyi bir stabilite oluştuğu söylenebilir. Bununla birlikte, partiküllerin düşük mutlak zeta potansiyel değerine sahip olması durumunda, agregasyon ve flokülasyon tercih edilir, dolayısıyla moleküllerin bir araya gelmesini engelleyecek bir kuvvet olmadığından stabilite düşük olmaktadır (Kaewmanee, vd., 2014; Wang, vd., 2010). Zeta potansiyel değerlerinin negatif olması, partiküllerin elektrik yüklerinden dolayı partiküller arasında itici kuvvetlerin oluştuğunu göstermektedir. Belirlenen mutlak düşük zeta potansiyel verileri parçacıkların yeterli elektriksel yüke sahip olmadığını göstermektedir.

Farklı zaman ve muamele uygulanan tahin örneklerinin zeta potansiyeli değerlerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 4.13'de verilmiştir. Zamanın zeta potansiyeli üzerine istatistiksel olarak çok önemli ( $p<0.01$ ) etkisi görülmektedir. Fakat bu etki kendini sadece SPINL-2 örneklerinde göstermektedir. Ayrıca protein izolatının sonuçlarında bulunan pH ve zeta potansiyeli arasındaki ilişki, tahin örneklerinin pH ve zeta değerleri arasında tespit edilememiştir.

Tablo 4.13. Farklı zaman ve muamele uygulanan tahin örneklerinin zeta potansiyeli değerlerine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Sd	KO	F
Zaman	3	36.255	7.099**
Muamele	5	5.443	1.066
Zaman x Muamele	15	4.817	0.943
Hata	24	5.107	

Sd: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, \*\*: p<0.01

#### 4.5.5. Hidrodinamik Çapların Belirlenmesi

Parçacık boyutu, partiküllerin biyolojik dağılımlarının ve hedef dokularda tutulmalarının ana belirleyicilerinden biri olduğu için bunlarla ilgili en temel bilgidir (Gordillo-Galeano ve Mora-Huertas, 2021). Tane boyutu ve viskozite, tahin ve benzeri ürünlerin hem duyu kalitesinde (örneğin ağızda bıraktığı his) hem de fiziksel kalitesinde (örneğin raf ömrü boyunca yağın ayrılması) önemli bir rol oynamaktadır (Lokumcu Altay ve Ak, 2005).

Tablo 4.14’de tahin örneklerinin farklı zamanlarda ortalama hidrodinamik çap değerleri verilmiştir. Örneklerin hidrodinamik çapları en düşük 1.51 µm, en yüksek 9.06 µm olarak belirlenmiştir. Örneklerin hidrodinamik çap değerleri pH ile paralel olarak değişimler göstermiştir. Bu durum pH’ın etkisinin, zayıf ve güçlü bir polielektrolitin elektrostatik olarak kendi kendine bir araya gelme süreci üzerindeki iyonik kuvvet ve diğer faktörlerin etkisinden çok daha güçlü olmasından kaynaklanabilir (Carneiro-da-Cunha, vd., 2011).

Tablo 4.14. Tahin örneklerinin farklı zamanlarda ortalama hidrodinamik çap değerleri

Muamele	Hidrodinamik çap (µm)			
	0. Gün	30. Gün	60. Gün	90. Gün
Kontrol	7.56±0.31 <sup>A</sup>	3.33±1.84 <sup>B</sup>	3.40±0.64 <sup>B</sup>	1.92±0.18 <sup>bcB</sup>
SPI-1	6.30±3.08	2.96±0.54	3.88±0.42	2.14±0.23 <sup>bc</sup>
SPI-2	6.68±0.27	5.32±3.31	4.31±3.00	3.78±0.38 <sup>a</sup>
SPINL-1	9.06±4.14 <sup>A</sup>	3.86±1.22 <sup>AB</sup>	2.47±0.03 <sup>B</sup>	1.51±0.38 <sup>cB</sup>
SPINL-2	6.03±0.86	5.41±3.32	4.18±0.63	3.12±0.49 <sup>ab</sup>
PVANL	5.20±0.47	3.64±0.65	3.29±1.54	3.76±0.88 <sup>a</sup>

<sup>a-c</sup> Aynı sütundaki farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir, <sup>A-B</sup> Aynı satırdaki farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir, Sonuçlar ortalama değer ± standart sapmadır.

Örneklerin hidrodinamik çapları ile yağ ayrılması arasında istatistiksel olarak önemli (p<0.05) bir korelasyon bulunmaktadır. Sonuçlar değerlendirildiğinde kontrol gruplarına göre hidrodinamik çapın artması ayrılan yağ miktarında ise azalmaya neden olmuştur. Bu durum arzu edilen bir gelişmedir. Partikül büyüklüğü süspansiyonun görünüşünü, çökme hızını, yeniden süspansiyon haline gelebilme özelliğini ve

süspansiyonun tüm fiziksel stabilitesini etkiler. Katı partiküllerin çökmesi sonucu, homojen olmayan bir dağılım ortaya çıkar (Acartürk, 2009).

Tablo 4.15’de farklı zaman ve muamele uygulanan tahin örneklerinin hidrodinamik çap değerlerine ait varyans analiz sonuçları sunulmuştur. Zamanın hidrodinamik çap üzerine çok önemli etkisi ( $p<0.01$ ) görülmektedir. Fakat örneklerde çözülebilir ve farklı türlerin bulunması tahinin tane boyutu dağılımında örnekler arasında değişken bir hidrodinamik çap sonuçlarına neden olmuştur.

Tablo 4.15. Farklı zaman ve muamele uygulanan tahin örneklerinin hidrodinamik çap değerlerine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Sd	KO	F
Zaman	3	37.484	13.026**
Muamele	5	1.716	0.596
Zaman x Muamele	15	2.307	0.802
Hata	24	2.878	

Sd: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, \*\*:  $p<0.01$

#### 4.6. Pearson Korelasyon Analizi

Örneklerin ayrılan yağ miktarları ile katkıların ayrılan yağ miktarı değişimine olan etki, pH, zeta potansiyeli, hidrodinamik çap, görünür viskozite, kıvam katsayısı ve akış davranış indeksi değerleri arasındaki korelasyonlar Pearson korelasyon analizi ile araştırılmıştır. Tahin örneklerinde incelenen parametreler arasındaki ilişkilere ait Pearson korelasyon katsayıları Tablo 4.16’da verilmiştir.

Tahin örneklerinin ayrılan yağ miktarı ile hidrodinamik çap değerleri arasında, negatif yönde anlamlı bir korelasyon ( $r=-0.370$ ,  $p<0.05$ ) bulunmuştur. Yani örneklerden ayrılan yağ miktarı fazla olanın, hidrodinamik çapı düşük bulunmuştur. Tahinde ayrılan yağ miktarının yüksek olmasında, partikül boyutu küçük olan fraksiyon miktarının fazla olmasının etkin olduğu belirtilmiştir (Lindner ve Kinsella, 1991). Ayrılan yağ miktarları ile görünür viskozite ( $\eta_{50}$ ) değerleri arasında yüksek düzeyde ve pozitif yönde anlamlı bir korelasyon ( $r=0.792$ ,  $p<0.01$ ), K değerleri ile arasında yüksek düzeyde ve pozitif yönde anlamlı ( $r=0.678$ ,  $p<0.01$ ) ve n değerleri ile arasında ise yüksek düzeyde ve negatif yönde anlamlı ( $r=-0.517$ ,  $p<0.01$ ) korelasyonlar bulunmuştur. Bu sonuçlar Çiftçi vd. (2008) elde ettiği korelasyonlar ile uyum içersindedir.

Tablo 4.16. Tahin örneklerinde incelenen parametreler arasındaki ilişkilere ait Pearson korelasyon katsayıları

	Ayrılan yağ	Etki	pH	Zeta potansiyeli	Hidrodinamik çap	$\eta_{50}$	K	n
Ayrılan yağ	1.000	-0.057	0.088	-0.133	-0.370*	0.792**	0.678**	-0.0517**
Etki		1.000	0.364*	-0.352	-0.117	0.047	-0.020	-0.033
pH			1.000	-0.274	-0.019	0.134	0.184	-0.205
Zeta potansiyeli				1.000	-0.037	-0.150	-0.147	0.218
Hidrodinamik çap					1.000	-0.478**	-0.288*	0.089
$\eta_{50}$						1.000	0.893**	-0.636**
K							1.000	-0.843**
n								1.000

\*\*p<0.01 istatistiksel olarak önemli, \* p<0.05 istatistiksel olarak önemli, N=48

Katkıların ayrılan yağ miktarı değişimine olan etki ile pH değerleri arasında pozitif yönde anlamlı korelasyon ( $r=0.364$ ,  $p<0.05$ ) belirlenmiştir. Örneklerin hidrodinamik çapları ile görünür viskozite değerleri arasında yüksek düzeyde negatif yönde anlamlı ( $r=-0.478$ ,  $p<0.01$ ), K değerleri ile arasında ise negatif yönde anlamlı ( $r=-0.288$ ,  $p<0.05$ ) korelasyonlar bulunmuştur. Bu demek oluyorki tahinlerin hidrodinamik çapları fazla olanın reolojik parametreleri diğer örneklerle göre düşük bulunmuştur. Bu bulgu, partikül boyutu kontrolü yoluyla tahinin viskozitesini değiştirmek isteyen üreticiler için faydalıdır.

Tahinlerin görünür viskozite değerleri ile K değerleri arasında yüksek düzeyde pozitif yönde anlamlı ( $r=0.893$ ,  $p<0.01$ ), n değerleriyle arasında ise yüksek düzeyde negatif yönde anlamlı ( $r=-0.636$ ,  $p<0.01$ ) korelasyon bulunmaktadır. K değerleri ile n değerleri arasında da yüksek düzeyde ve negatif yönde anlamlı bir korelasyon ( $r=-0.843$ ,  $p<0.01$ ) bulunmuştur. Reolojik ölçüm değerleri arasında bu tür korelasyonların olması beklenen bir durumdur. Çünkü bu parametreler uygulanan modellerde birbiriyle bağlantılı parametrelerdir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Oda sıcaklığında depolanan tahinde meydana gelen ve tüketiciler tarafından arzu edilmeyen yağ fazı ayrılmasını önleyebilmek veya en aza indirebilmek amacıyla katkılar ilave edilmiştir. Katkı olarak elektrospinning yöntemiyle üretilen susam proteinleri içeren nanolifler ve susam protein izolatları ilave edilmiştir. İlave edilen katkılar yağ fazının yapıdan ayrılmasına engel oluşturmak suretiyle etki etmiş ve depolama süresince (0, 30, 60 ve 90. günler) üründe meydana gelen bazı değişimler araştırılmıştır.

Tez çalışmasını aşamalara ayırmak gerekirse, tezin ilk aşamasında susam tohumundan yağı uzaklaştırılmış ve bundan en uygun şartlarda protein izolasyonu gerçekleştirilmiştir. Daha sonra hammadde susam tohumu, yağı uzaklaştırılmış susam, tahin ve protein izolatının fizikokimyasal özellikleri incelenmiştir. Tezin ikinci aşamasında elde edilen protein izolatlarından en uygun şartlar bulunarak en uygun nanolif üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen nanoliflerin ve protein izolatının karakterizasyonu da yapılmıştır. Tezin son aşamasında ise üretilen protein izolatı ve nanolifler yağ ayrılmasını önlemek amacıyla tahinlere belirli oranlarda (%1 ve %2) ilave edilerek kontrol (%0) gruplarıyla kıyaslamaları yapılmış ve depolama boyunca reolojik ve bazı özellikleri incelenmiştir.

Susam tohumunun su miktarı % 2.68, protein miktarı %25.55, yağ miktarı 56.83, kül miktarı %2.96, pH değeri 6.41, zeta potansiyeli -23.53 mV ve hidrodinamik çapı 2.64 µm olarak tespit edilmiştir. Yağsız susamın su, protein, yağ kül miktarı, zeta potansiyeli ve hidrodinamik çap değeri sırasıyla %2.14, %57.37, %6.64, %5.94, -17.30 mV ve 3.02 µm olarak belirlenmiştir. Susam protein izolatının ekstraksiyon verimi %43.76 olarak belirlenmiştir. SPI'nın protein, su ve yağ miktarı sırasıyla %88.98, %1.26 ve %0.82 olarak belirlenmiştir. Tahinin su miktarı %0.87, protein miktarı %25.52, yağ miktarı %53.63, kül miktarı %2.94, pH değeri 5.77, zeta potansiyeli -17.70 mV ve hidrodinamik çapı 7.56 µm olarak tespit edilmiştir.

Elde edilen değerler katkıların kontrol grubuna kıyasla, yağ ayrılmasını %63'e kadar azalttığı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda yağ fazının yapıdan ayrılmasının kontrol gruplarına göre SPI ilavesiyle %24.73'e, SPINL ilavesiyle ise %63.02'ye kadar önlenildiği belirlenmiştir. Zamanın, muamelenin ve zaman x muamele interaksyonunun tahinlerin ayrılan yağ miktarı üzerine çok önemli ( $p < 0.01$ ) etkisinin olduğu bulunmuştur. Ayrıca ilave edilen katkılar tahin örneklerinin görünür viskozite

değerlerini değiştirmiştir. Görünür viskozite değerleri 1.11-6.26 Pa.s arasında değişmiştir.

Protein izolatu ile nanoliflerin ve depolama zamanının, tahinlerin reolojik ölçüm sonuçlarına çok önemli ( $p<0.01$ ) etkileri olmuştur. Ayrıca zamanın örneklerin pH, zeta potansiyeli ve hidrodinamik çap değerleri üzerine çok önemli ( $p<0.01$ ) etkileri olmuşken, katkıların ise pH değerleri üzerine önemli ( $p<0.05$ ) etkileri olmuştur. Katkıların tahin örneklerinin zeta potansiyeli ve hidrodinamik çap değerleri üzerine etkisi önemsiz ( $p>0.05$ ) olarak belirlenmiştir.

Tahin Tebliği'ne göre tahine emülgatör katılmasına izin verilmediği için ülkemizde endüstriyel olarak uygulanmasının olanağı yoktur. Aynı şekilde PVA içeren nanoliflerinde katılabilmesi mümkün gözükmemektedir. Fakat tahinin hammaddesi olan susamdan elde edilen SPI'ların tahine ilave edilmesinde bir sakınca görülmemektedir. Tahinlere SPI ilave edilmesinin, tahinde yağ ayrışması problemini tam olarak engellemediği, ama gecikmesi ve azaltılmasında etkin olduğu tespit edilmiştir. Böylece tahine yabancı bir madde olmaksızın kendi hammaddesinden elde edilen katkıların katılabileceği yönünde yeni bir yol açılmış olmaktadır. Aynı zamanda tahinin tüketimi esnasında zaman içerisinde yağ ayrışmasına bağlı olarak dibe çöken kısım artmaktadır ve bu kısım aşırı katılaştığından tahin verimli bir şekilde tüketilememektedir. Yağ ayrışması azaltılabildiği için ayrılan yağ ve dolayısıyla dibe çökebilene kısmın miktarı azalacağından, tahin daha uygun şekilde tüketilebilecek ve ülke ekonomisine katkısı olacaktır.

Kullanılan katkıları protein içerikli olduğundan ve nanoliflerinde yüzey alanını artırarak proteinlerin daha az miktarının daha etkili olmasını sağlaması açısından bu alanda yeni bir bakış kazandırmıştır.

Tahinde yağ ayrılmasını önlemek için kullanılacak katkıların tahine daha homojen karışması ve parçacık boyutunun daha düşük olması ürünün viskozitesini artırması açısından özellikle gerekmektedir. Kullanılan katkıların protein bazlı olması da yapıdaki yağın adsorpsiyonu bakımından ve dolayısıyla flokülasyon oluşturmaması açısından oldukça önemlidir. İlerleyen zamanlarda araştırılan bu parametrelere sıcaklık da eklenerek, sıcaklığın depolama esnasındaki etkileri araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

- Abu-Jdayil, B., Al-Malah, K., & Asoud, H. (2002). Rheological characterization of milled sesame (tehineh). *Food Hydrocolloids*, 16(1), 55-61. doi: [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(01\)00040-6](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(01)00040-6)
- Acartürk, F. (2009). *Süspansiyonlar*. Modern Farmasötik Teknoloji. Ankara: TEB Eczacılık Akademisi.
- Achouri, A., & Boye, J. I. (2013). Thermal processing, salt and high pressure treatment effects on molecular structure and antigenicity of sesame protein isolate. *Food Research International*, 53(1), 240-251. doi:10.1016/j.foodres.2013.04.016
- Achouri, A., Nail, V., & Boye, J. I. (2012). Sesame protein isolate: Fractionation, secondary structure and functional properties. *Food Research International*, 46(1), 360-369. doi:10.1016/j.foodres.2012.01.001
- Aguilar-Vázquez, G., Ortiz-Frade, L., Figueroa-Cárdenas, J. D., López-Rubio, A., & Mendoza, S. (2020). Electrospinnability study of pea (*Pisum sativum*) and common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) using the conformational and rheological behavior of their protein isolates. *Polymer Testing*, 81. doi:10.1016/j.polymertesting.2019.106217
- Akbulut, M., & Çoklar, H. (2008). Physicochemical and rheological properties of sesame pastes (tahin) processed from hulled and unhulled roasted sesame seeds and their blends at various levels. *Journal of Food Process Engineering*, 31(4), 488-502. doi:10.1111/j.1745-4530.2007.00162.x
- Al-Mahasneh, M., Rababah, T., & Alu'Datt, M. (2017). Effect of palm oil (po) and distilled mono-glycerid (dmg) on oil separation and rheological properties of sesame paste. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(3). doi:10.1111/jfpp.12896
- Almasi, H., Azizi, S., & Amjadi, S. (2020). Development and characterization of pectin films activated by nanoemulsion and Pickering emulsion stabilized marjoram (*Origanum majorana* L.) essential oil. *Food Hydrocolloids*, 99. doi:10.1016/j.foodhyd.2019.105338
- Al-Nabulsi, A. A., Olaimat, A. N., Osaili, T. M., Shaker, R. R., Zein Elabedeen, N., Jaradat, Z. W., Holley, R. A. (2014). Use of acetic and citric acids to control Salmonella Typhimurium in tahini (sesame paste). *Food Microbiology*, 42, 102-108. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.02.020>
- Albe Slabi, S., Mathe, C., Basselin, M., Framboisier, X., Ndiaye, M., Galet, O., & Kapel, R. (2020). Multi-objective optimization of solid/liquid extraction of total sunflower proteins from cold press meal. *Food Chemistry*, 317, 126423. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126423>
- Alhosseini, S. N., Moztarzadeh, F., Mozafari, M., Asgari, S., Dodel, M., Samadikuchaksaraei, A., Jalali, N. (2012). Synthesis and characterization of electrospun polyvinyl alcohol nanofibrous scaffolds modified by blending with chitosan for neural tissue engineering. *International Journal of Nanomedicine*, 7, 25-34. doi:10.2147/IJN.S25376
- Aman Mohammadi, M., Ramazani, S., Rostami, M., Raeisi, M., Tabibiazar, M., & Ghorbani, M. (2019). Fabrication of food-grade nanofibers of whey protein Isolate–Guar gum using the electrospinning method. *Food Hydrocolloids*, 90, 99-104. doi:10.1016/j.foodhyd.2018.12.010
- Amoo, S. O., Okorogbona, A. O. M., Du Plooy, C. P., & Venter, S. L. (2017). *Sesamum indicum*. In Medicinal Spices and Vegetables from Africa (pp. 549-579).
- Anonim. (2015). Türk Gıda Kodeksi Tahin Tebliği. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/06/20150613-9.htm> Erişim tarihi: 1 Ekim

2021.

- Anonim. (2021). Ulusal gıda kompozisyon veri tabanı. Erişim: 7 Eylül 2021, <http://www.turkomp.gov.tr>
- AOAC, (2000). Official Methods of Analysis. Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists.
- Arslan, E., Yener, M. E., & Esin, A. (2005). Rheological characterization of tahin/pekmez (sesame paste/concentrated grape juice) blends. *Journal of Food Engineering*, 69(2), 167-172. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.08.010>
- Asanga Ratnayake Manamperi, W., Pryor, S.W., & Chang, S.K.C. (2007). Separation and evaluation of canola meal and protein for industrial bioproducts. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 1-11. doi: <https://doi.org/10.13031/2013.24173>
- Aydemir, L. Y., & Yemenicioğlu, A. (2013). Potential of Turkish Kabuli type chickpea and green and red lentil cultivars as source of soy and animal origin functional protein alternatives. *LWT-Food Science and Technology*, 50(2), 686-694. doi:10.1016/j.lwt.2012.07.023
- Baker, M. I., Walsh, S. P., Schwartz, Z., & Boyan, B. D. (2012). A review of polyvinyl alcohol and its uses in cartilage and orthopedic applications. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*, 100(5), 1451-1457. doi:10.1002/jbm.b.32694
- Başdoğan, H. (2016). Tahindeki faz ayrımı ve reolojik özellikler üzerine ultrases işleminin etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Baydar, H., & Turgut, İ. (2000). Susam (*Sesamum indicum* L.) genetiği ve ıslahı üzerinde araştırmalar I. Bitki tipini belirleyen özelliklerin kalıtımı. *Turkish Journal of Biology*, 24(3), 503-512.
- Bayod, E., Willers, E. P., & Tornberg, E. (2008). Rheological and structural characterization of tomato paste and its influence on the quality of ketchup. *LWT-Food Science and Technology*, 41(7), 1289-1300. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.08.011>
- Bhardwaj, N., & Kundu, S. C. (2010). Electrospinning: a fascinating fiber fabrication technique. *Biotechnol Adv*, 28(3), 325-347. doi:10.1016/j.biotechadv.2010.01.004
- Bhat, N. V., Nate, M. M., Kurup, M. B., Bambole, V. A., & Sabharwal, S. (2005). Effect of  $\gamma$ -radiation on the structure and morphology of polyvinyl alcohol films. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 237(3), 585-592. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2005.04.058>
- Bhattacharjee, S. (2016). DLS and zeta potential - What they are and what they are not? *J Control Release*, 235, 337-351. doi:10.1016/j.jconrel.2016.06.017
- Bilgin, Ö., Çarlı, U., Erdogan, S., Maviş, M. E., Göksu Gürsu, G., & Yılmaz, M. (2019). Determination of amino acids composition in different tissues of whiting, *Merlangus merlangus euxinus* (Nordmann, 1840) from the Black Sea, Turkey. *Alinteri Zirai Bilimler Dergisi*, 142-147. doi:10.28955/alinterizbd.665228
- Borchani, C., Besbes, S., Blecker, C. H., & Attia, H. (2010). Chemical characteristics and oxidative stability of sesame seed, sesame paste, and olive oils. *Journal Of Agricultural Science and Technology*, 12, 585-596.
- Bourne, M. C. (2002). Chapter 3 - Physics and Texture. In M. C. Bourne (Ed.), *Food Texture and Viscosity (Second Edition)* (pp. 59-106). London: Academic Press.
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1), 248-254. doi: [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Cano-Medina, A., Jiménez-Islas, H., Dendooven, L., Herrera, R. P., González-Alatorre, G., &

- Escamilla-Silva, E. M. (2011). Emulsifying and foaming capacity and emulsion and foam stability of sesame protein concentrates. *Food Research International*, 44(3), 684-692. doi:10.1016/j.foodres.2010.12.015
- Cano-Sarmiento, C., Téllez-Medina, D. I., Viveros-Contreras, R., Cornejo-Mazón, M., Figueroa-Hernández, C. Y., García-Armenta, E., Gutiérrez-López, G. F. (2018). Zeta Potential of Food Matrices. *Food Engineering Reviews*, 10(3), 113-138. doi:10.1007/s12393-018-9176-z
- Capanoglu, E., & Boyacioglu, D. (2008). Improving the quality and shelf life of Turkish almond paste. *Journal of Food Quality*, 31(4), 429-445. doi: https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2008.00210.x
- Carneiro-da-Cunha, M. G., Cerqueira, M. A., Souza, B. W. S., Teixeira, J. A., & Vicente, A. A. (2011). Influence of concentration, ionic strength and pH on zeta potential and mean hydrodynamic diameter of edible polysaccharide solutions envisaged for multilayered films production. *Carbohydrate Polymers*, 85(3), 522-528. doi: https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.03.001
- Ceylan, Z. (2017). Elektrodöndürme yöntemiyle üretilen biyopolimer tabanlı nanoliflerle balık filetoalarının kaplanması ve depolama stabilitesinin artırılması. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Chau, C.-F., Wu, S.-H., & Yen, G.-C. (2007). The development of regulations for food nanotechnology. *Trends in Food Science & Technology*, 18(5), 269-280. doi:10.1016/j.tifs.2007.01.007
- Chen, H., Weiss, J., & Shahidi, F. (2006). Nanotechnology in nutraceuticals and functional foods. *Food technology*, 3, 30-36.
- Cho, D., Netravali, A. N., & Joo, Y. L. (2012a). Mechanical properties and biodegradability of electrospun soy protein Isolate/PVA hybrid nanofibers. *Polymer Degradation and Stability*, 97(5), 747-754. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2012.02.007
- Cho, D., Hoepker, N., & Frey, M. W. (2012b). Fabrication and characterization of conducting polyvinyl alcohol nanofibers. *Materials Letters*, 68, 293-295. doi:10.1016/j.matlet.2011.10.109
- Cho, D., Nnadi, O., Netravali, A., & Joo, Y. L. (2010). Electrospun Hybrid Soy Protein/PVA Fibers. *Macromolecular Materials and Engineering*, 295(8), 763-773. doi:10.1002/mame.201000161
- Çavuşoğlu, Y.Ç. (2017). Tahin üretimi sırasında fiziksel, kimyasal ve antioksidan özelliklerdeki değişim. Yüksek Lisans Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Samsun.
- Çiçek, P.K. (2016). Elektrodöndürme tekniği ile üretilen kurkumin yüklü gliadin nanoliflerinin üretimi ve karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çiftçi, D., Kahyaoglu, T., Kapucu, S., & Kaya, S. (2008). Colloidal stability and rheological properties of sesame paste. *Journal of Food Engineering*, 87(3), 428-435. doi:10.1016/j.jfoodeng.2007.12.026
- Das, R., & Bhattacharjee, C. (2015). Processing Sesame Seeds and Bioactive Fractions. In *Processing and Impact on Active Components in Food* (pp. 385-394).
- Dickinson, E. (2003). Food Colloids: Drifting into the Age of Nanoscience. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 8(4-5), 346-348. doi:10.1016/s1359-0294(03)00109-2
- Dickinson, E. (2004). Food colloids: the practical application of protein nanoscience in extreme environments. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 9(5), 295-297. doi:10.1016/j.cocis.2004.10.002

- Dorđević, V., Balanč, B., Belščak-Cvitanović, A., Lević, S., Trifković, K., Kalušević, A., Nedović, V. (2014). Trends in Encapsulation Technologies for Delivery of Food Bioactive Compounds. *Food Engineering Reviews*, 7(4), 452-490. doi:10.1007/s12393-014-9106-7
- Dündar Emir, D. (2014). Soğuk pres yöntemiyle elde edilen hashas yağlarının, yağsız keklerinin ve protein izolatlarının teknolojik ve fonksiyonel özelliklerinin belirlenmesi. Doktora Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.
- El Halal, S. L. M., Fonseca, L. M., do Evangelho, J. A., Bruni, G. P., dos Santos Hackbart, H. C., da Rosa Zavareze, E., & Dias, A. R. G. (2019). Electrospun ultrafine fibers from black bean protein concentrates and polyvinyl alcohol. *Food Biophysics*, 14(4), 446-455. doi:10.1007/s11483-019-09594-y
- El-Sayed, S., Mahmoud, K. H., Fatah, A. A., & Hassen, A. (2011). DSC, TGA and dielectric properties of carboxymethyl cellulose/polyvinyl alcohol blends. *Physica B: Condensed Matter*, 406(21), 4068-4076. doi: https://doi.org/10.1016/j.physb.2011.07.050
- Elleuch, M., Besbes, S., Roiseux, O., Blecker, C., & Attia, H. (2007). Quality characteristics of sesame seeds and by-products. *Food Chemistry*, 103(2), 641-650. doi:10.1016/j.foodchem.2006.09.008
- Ereifej, K. I., Rababah, T. M., & Al-Rababah, M. A. (2005). Quality attributes of halva by utilization of proteins, non-hydrogenated palm oil, emulsifiers, gum arabic, sucrose, and calcium chloride. *International Journal of Food Properties*, 8(3), 415-422. doi:10.1080/10942910500267323
- Evlogimenou, A., Paraskevopoulou, A., & Kiosseoglou, V. (2017). Exploitation of hazelnut, maize germ and sesame seed aqueous extraction residues in the stabilisation of sesame seed paste (tahini). *J Sci Food Agric*, 97(1), 215-221. doi:10.1002/jsfa.7714
- Fang, Q., Zhu, M., Yu, S., Sui, G., & Yang, X. (2016). Studies on soy protein isolate/polyvinyl alcohol hybrid nanofiber membranes as multi-functional eco-friendly filtration materials. *Materials Science and Engineering: B*, 214, 1-10. doi:10.1016/j.mseb.2016.08.004
- FAOSTAT. (2021). Food and agriculture data. <http://foa.org/faostat/en/#data/QC>. Erişim 7 Eylül 2021.
- Fasuan, T. O., Omobuwajo, T. O., & Gbadamosi, S. O. (2018a). Optimization of simultaneous recovery of oil and protein from sesame (*Sesamum indicum*) seed. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(1). doi:10.1111/jfpp.13341
- Fasuan, T. O., Gbadamosi, S. O., & Omobuwajo, T. O. (2018b). Characterization of protein isolate from *Sesamum indicum* seed: In vitro protein digestibility, amino acid profile, and some functional properties. *Food Sci Nutr*, 6(6), 1715-1723. doi:10.1002/fsn3.743
- Fathi, N., Almasi, H., & Pirouzifard, M. K. (2018). Effect of ultraviolet radiation on morphological and physicochemical properties of sesame protein isolate based edible films. *Food Hydrocolloids*, 85, 136-143. doi:10.1016/j.foodhyd.2018.07.018
- Fathi, N., Almasi, H., & Pirouzifard, M. K. (2019). Sesame protein isolate based bionanocomposite films incorporated with TiO<sub>2</sub> nanoparticles: Study on morphological, physical and photocatalytic properties. *Polymer Testing*, 77. doi:10.1016/j.polymertesting.2019.105919
- Fernandez, A., Torres-Giner, S., & Lagaron, J. M. (2009). Novel route to stabilization of bioactive antioxidants by encapsulation in electrospun fibers of zein prolamine. *Food Hydrocolloids*, 23(5), 1427-1432. doi:10.1016/j.foodhyd.2008.10.011
- Fong, H., Chun, I., & Reneker, D.H. (1999). Beaded nanofibers formed during

- electrospinning. *Polymer*, 40, 4585-4592.
- Frenot, A., & Chronakis, I. S. (2003). Polymer nanofibers assembled by electrospinning. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 8(1), 64-75. doi:10.1016/s1359-0294(03)00004-9
- Gandhi, A. P., & Srivastava, J. (2007). Studies on the production of protein isolates from defatted sesame seed (*sesamum indicum*) flour and their nutritional profile. *ASEAN Food Journal*, 14(3), 175-180.
- Gautam, A., Komal, P., Sevak Singh, R., Gautam, P., Manjari, S. K. V., & Ningthoujam, R. S. (2021). Hard core proof of the polyvinyl alcohol as a reducer for the formation of gold nanoparticles. *Journal of Molecular Liquids*, 334, 116112. doi: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.116112>
- Ge, J. C., Wu, G., Yoon, S. K., Kim, M. S., & Choi, N. J. (2021). Study on the preparation and lipophilic properties of polyvinyl alcohol (pva) nanofiber membranes via green electrospinning. *Nanomaterials*, 11(10), 2514. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2079-4991/11/10/2514>
- Geremias-Andrade, I. M., Souki, N. P. B. G., Moraes, I. C. F., & Pinho, S. C. (2016). Rheology of emulsion-filled gels applied to the development of food materials. *Gels*, 2(3). doi:10.3390/gels2030022
- Gharby, S., Harhar, H., Bouzoubaa, Z., Asdadi, A., El Yadini, A., & Charrouf, Z. (2017). Chemical characterization and oxidative stability of seeds and oil of sesame grown in Morocco. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(2), 105-111. doi:10.1016/j.jssas.2015.03.004
- Ghorani, B., & Tucker, N. (2015). Fundamentals of electrospinning as a novel delivery vehicle for bioactive compounds in food nanotechnology. *Food Hydrocolloids*, 51, 227-240. doi:10.1016/j.foodhyd.2015.05.024
- Ghribi, A. M., Gafsi, I. M., Blecker, C., Danthine, S., Attia, H., & Besbes, S. (2015). Effect of drying methods on physico-chemical and functional properties of chickpea protein concentrates. *Journal of Food Engineering*, 165, 179-188. doi:10.1016/j.jfoodeng.2015.06.021
- Gibbs, B. F., Kermasha, S., Alli, I., & Mulligan, C. N. (1999). Encapsulation in the food industry: a review. *Int J Food Sci Nutr*, 50(3), 213-224. doi:10.1080/096374899101256
- Gómez-Arellano, A., Jiménez-Islas, H., Castrejón-González, E. O., Medina-Torres, L., Dendooven, L., & Escamilla-Silva, E. M. (2017). Rheological behaviour of sesame (*Sesamum indicum* L.) protein dispersions. *Food and Bioprocess Processing*, 106, 201-208. doi:10.1016/j.fbp.2017.09.010
- Gordillo-Galeano, A., & Mora-Huertas, C. E. (2021). Hydrodynamic diameter and zeta potential of nanostructured lipid carriers: Emphasizing some parameters for correct measurements. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 620, 126610. doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.126610>
- Gorissen, S. H. M., Crombag, J. J. R., Senden, J. M. G., Waterval, W. A. H., Bierau, J., Verdijk, L. B., & van Loon, L. J. C. (2018). Protein content and amino acid composition of commercially available plant-based protein isolates. *Amino Acids*, 50(12), 1685-1695. doi:10.1007/s00726-018-2640-5
- Gorrepati, K., Balasubramanian, S., & Chandra, P. (2015). Plant based butters. *Journal of Food Science and Technology*, 52(7), 3965-3976. doi:10.1007/s13197-014-1572-7
- Gökşen, G. (2020). Elektroeğirme yöntemiyle uçucu yağların nanolif ile enkapsülasyonu ve karakterizasyonu. Doktora Tezi. Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- Görgüç, A., & Yılmaz, F. M. (2019). Susam kepeğinden protein ve antioksidan özellikli

maddelerin geri kazanım potansiyelinin bazı temel bileşim analizleri ile incelenmesi. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7(4). doi:10.24925/turjaf.v7i4.624-630.2347

- Gundogan, R., & Can Karaca, A. (2020). Physicochemical and functional properties of proteins isolated from local beans of Turkey. *LWT*, 130. doi:10.1016/j.lwt.2020.109609
- Guneser, O., & Zorba, M. (2014). Effect of emulsifiers on oil separation problem and quality characteristics of Tahin Helva during storage. *Journal of Food Science and Technology*, 51(6), 1085-1093. doi:10.1007/s13197-011-0594-7
- Gutschmidt, D., Hazra, R. S., Zhou, X., Xu, X., Sabzi, M., & Jiang, L. (2021). Electrospun, sepiolite-loaded poly(vinyl alcohol)/soy protein isolate nanofibers: Preparation, characterization, and their drug release behavior. *International Journal of Pharmaceutics*, 594, 120172. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2020.120172>
- Güçlü, S. (2012). İki farklı polimerden simultane olarak elektrospinning yöntemiyle nanolif ve membran üretimi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Haghi, A. K., & Akbari, M. (2007). Trends in electrospinning of natural nanofibers. *Physica Status Solidi*, 204(6), 1830-1834. doi:10.1002/pssa.200675301
- Haider, A., Haider, S., & Kang, I.-K. (2018). A comprehensive review summarizing the effect of electrospinning parameters and potential applications of nanofibers in biomedical and biotechnology. *Arabian Journal of Chemistry*, 11(8), 1165-1188. doi:10.1016/j.arabjc.2015.11.015
- Han, Y., & Chen, H. (2013). Enhancement of nanofiber elasticity by using wheat glutenin as an addition. *Polymer Science Series A*, 55(5), 320-326. doi:10.1134/S0965545X13050076
- Hassan, M. M. (2012). Studies on Egyptian sesame seeds (*Sesamum indicum* L.) and its products 1-physicochemical analysis and phenolic acids of roasted Egyptian sesame seeds (*Sesamum indicum* L.). *World Journal of Dairy & Food Sciences*, 7, 195-201.
- He, X., Deng, H., & Hwang, H. M. (2019). The current application of nanotechnology in food and agriculture. *J Food Drug Anal*, 27(1), 1-21. doi:10.1016/j.jfda.2018.12.002
- Hegde, D. M. (2012). Sesame. In *Handbook of Herbs and Spices* (pp. 449-486).
- Hong, X., He, J., Zou, L., Wang, Y., & Li, Y. V. (2021). Preparation and characterization of high strength and high modulus PVA fiber via dry-wet spinning with cross-linking of boric acid. *Journal of Applied Polymer Science*, 138(47), 51394. doi: <https://doi.org/10.1002/app.51394>
- Hosseini, S. F., Nahvi, Z., & Zandi, M. (2019). Antioxidant peptide-loaded electrospun chitosan/poly(vinyl alcohol) nanofibrous mat intended for food biopackaging purposes. *Food Hydrocolloids*, 89, 637-648. doi:10.1016/j.foodhyd.2018.11.033
- Hou, L.-X. (2017). Rheology of sesame pastes with different amounts of water added. *Journal of Chemistry*, 2017, 1-5. doi:10.1155/2017/8023610
- Hou, L., Li, C., & Wang, X. (2020). The colloidal and oxidative stability of the sesame pastes during storage. *J Oleo Sci*, 69(3), 191-197. doi:10.5650/jos.ess19214
- Hou, L. X., Li, C. C., & Wang, X. D. (2018). Physicochemical, rheological and sensory properties of different brands of sesame pastes. *J Oleo Sci*, 67(10), 1291-1298. doi:10.5650/jos.ess18109
- Huang, Z.-M., Zhang, Y. Z., Kotaki, M., & Ramakrishna, S. (2003). A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites. *Composites Science and Technology*, 63(15), 2223-2253. doi:10.1016/s0266-3538(03)00178-7

- Jia, Y.-T., Gong, J., Gu, X.-H., Kim, H.-Y., Dong, J., & Shen, X.-Y. (2007). Fabrication and characterization of poly (vinyl alcohol)/chitosan blend nanofibers produced by electrospinning method. *Carbohydrate Polymers*, 67(3), 403-409. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.06.010>
- Kaewmanee, T., Bagnasco, L., Benjakul, S., Lanteri, S., Morelli, C. F., Speranza, G., & Cosulich, M. E. (2014). Characterisation of mucilages extracted from seven Italian cultivars of flax. *Food Chemistry*, 148, 60-69. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.022>
- Karaca, A. C., Low, N., & Nickerson, M. (2011). Emulsifying properties of chickpea, faba bean, lentil and pea proteins produced by isoelectric precipitation and salt extraction. *Food Research International*, 44(9), 2742-2750. doi:10.1016/j.foodres.2011.06.012
- Karakoç, F.B. (2021). Menengiç, susam ve keten tohumunun bisküvi formülasyonuna ilavesinin bisküvinin kalitesi ve raf ömrü üzerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi. Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Karaman, S., Yilmaz, M. T., Ozturk, G., Yuksel, F., Toker, Ö. S., & Dogan, M. (2017). Characterization of grape molasses/sesame paste/honey blends: multiple response optimization of some physicochemical, bioactive, viscoelastic and sensory properties. *Journal of Food Process Engineering*, 40(2), e12406. doi: <https://doi.org/10.1111/jfpe.12406>
- Khalid, E. K., Babiker, E. E., & El Tinay, A. H. (2003). Solubility and functional properties of sesame seed proteins as influenced by pH and/or salt concentration. *Food Chemistry*, 82(3), 361-366. doi: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00555-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00555-1)
- Koysuren, B., Oztop, M. H., & Mazi, B. G. (2021). Sesame seed as an alternative plant protein source: A comprehensive physicochemical characterisation study for alkaline, salt and enzyme-assisted extracted samples. *International Journal of Food Science & Technology*, n/a(n/a). doi: <https://doi.org/10.1111/ijfs.15229>
- Kumru, A. (2013). Elektroüretimle nanolif eldesine etki eden faktörlerin ve jelatin-pektin içeren nanoliflerin model gıdaların reolojik özelliklerine etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kurd, F., Fathi, M., & Shekarchizadeh, H. (2017). Basil seed mucilage as a new source for electrospinning: Production and physicochemical characterization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 95, 689-695. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.11.116>
- Kurt, A. (2017). Salep glukomannanın klarifikasyon ve deasetilasyonu: yapı-proses-özellik ilişkilerinin belirlenmesi. Doktora Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Samsun.
- Lawal, S. O., Idowu, A. O., Malomo, S. A., Badejo, A. A., & Fagbemi, T. N. (2021). Effect of toasting on the chemical composition, functional and antioxidative properties of full fat and defatted sesame (*Sesamum indicum* L) seed flours. *Journal of Culinary Science & Technology*, 19(1), 18-34. doi:10.1080/15428052.2019.1681333
- Leidy, R., & Maria Ximena, Q.-C. (2019). Use of electrospinning technique to produce nanofibres for food industries: A perspective from regulations to characterisations. *Trends in Food Science & Technology*, 85, 92-106. doi:10.1016/j.tifs.2019.01.006
- Lindner, P., & Kinsella, J. E. (1991). Study of the hydration process in tehina. *Food Chemistry*, 42(3), 301-319. doi: [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(91\)90072-V](https://doi.org/10.1016/0308-8146(91)90072-V)
- Liu, Q., Zhang, M., Bhandari, B., Xu, J., & Yang, C. (2020). Effects of nanoemulsion-based active coatings with composite mixture of star anise essential oil, polylysine, and nisin on the quality and shelf life of ready-to-eat Yao meat products. *Food Control*, 107. doi:10.1016/j.foodcont.2019.106771

- Lokumcu Altay, F., & Ak, M. M. (2005). Effects of temperature, shear rate and constituents on rheological properties of tahin (sesame paste). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(1), 105-111. doi:10.1002/jsfa.1945
- López, G., Flores, I., Gálvez, A., Quirasco, M., & Farrés, A. (2003). Development of a liquid nutritional supplement using a *Sesamum indicum* L. protein isolate. *LWT-Food Science and Technology*, 36(1), 67-74. doi: [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(02\)00173-1](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(02)00173-1)
- López-Monterrubio, D. I., Lobato-Calleros, C., Alvarez-Ramirez, J., & Vernon-Carter, E. J. (2020). Huauzontle (*Chenopodium nuttalliae* Saff.) protein: Composition, structure, physicochemical and functional properties. *Food Hydrocolloids*, 108, 106043. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106043>
- Lu, X., Sun, Q., Zhang, L., Wang, R., Gao, J., Jia, C., & Huang, J. (2021). Dual-enzyme hydrolysis for preparation of ACE-inhibitory peptides from sesame seed protein: Optimization, separation, and identification. *J Food Biochem*, 45(4), e13638. doi:10.1111/jfbc.13638
- Ma, X., Chen, W., Yan, T., Wang, D., Hou, F., Miao, S., & Liu, D. (2020). Comparison of citrus pectin and apple pectin in conjugation with soy protein isolate (SPI) under controlled dry-heating conditions. *Food Chemistry*, 309, 125501. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125501>
- Mahmud, M. M., Zaman, S., Perveen, A., Jahan, R. A., Islam, M. F., & Arafat, M. T. (2020). Controlled release of curcumin from electrospun fiber mats with antibacterial activity. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 55, 101386. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2019.101386>
- Mendes, A. C., Stephansen, K., & Chronakis, I. S. (2017). Electrospinning of food proteins and polysaccharides. *Food Hydrocolloids*, 68, 53-68. doi:10.1016/j.foodhyd.2016.10.022
- Mir, N. A., Riar, C. S., & Singh, S. (2019). Effect of pH and holding time on the characteristics of protein isolates from *Chenopodium* seeds and study of their amino acid profile and scoring. *Food Chemistry*, 272, 165-173. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.048>
- Mit-uppatham, C., Nithitanakul, M., & Supaphol, P. (2004). Ultrafine Electrospun Polyamide-6 Fibers: Effect of Solution Conditions on Morphology and Average Fiber Diameter. *Macromolecular Chemistry and Physics*, 205(17), 2327-2338. doi:10.1002/macp.200400225
- Moomand, K., & Lim, L.-T. (2015). Effects of solvent and n-3 rich fish oil on physicochemical properties of electrospun zein fibres. *Food Hydrocolloids*, 46, 191-200. doi:10.1016/j.foodhyd.2014.12.014
- More, D. S., Moloto, M. J., Moloto, N., & Matabola, K. P. (2021). Silver/copper nanoparticle-modified polymer chitosan/PVA blend fibers. *International Journal of Polymer Science*, 2021, 6217609. doi:10.1155/2021/6217609
- Mozafarpour, R., Koocheki, A., Milani, E., & Varidi, M. (2019). Extruded soy protein as a novel emulsifier: Structure, interfacial activity and emulsifying property. *Food Hydrocolloids*, 93, 361-373. doi:10.1016/j.foodhyd.2019.02.036
- Munawar, H., Safaryan, A. H. M., De Girolamo, A., Garcia-Cruz, A., Marote, P., Karim, K., Piletsky, S. A. (2019). Determination of Fumonisin B1 in maize using molecularly imprinted polymer nanoparticles-based assay. *Food Chemistry*, 298, 125044. doi:10.1016/j.foodchem.2019.125044
- Mune, M. A. M., & Sogi, D. S. (2016). Emulsifying and foaming properties of protein concentrates prepared from cowpea and bambara bean using different drying methods. *International Journal of Food Properties*, 19(2), 371-384.

doi:10.1080/10942912.2015.1023399

- Müsellim, E., Tahir, M. H., Ahmad, M. S., & Ceylan, S. (2018). Thermokinetic and TG/DSC-FTIR study of pea waste biomass pyrolysis. *Applied Thermal Engineering*, 137, 54-61. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.03.050>
- Nedovic, V., Kalusevic, A., Manojlovic, V., Levic, S., & Bugarski, B. (2011). An overview of encapsulation technologies for food applications. *Procedia Food Science*, 1, 1806-1815. doi:10.1016/j.profoo.2011.09.265
- Neethirajan, S., & Jayas, D. S. (2011). Nanotechnology for the Food and Bioprocessing Industries. *Food Bioproc Tech*, 4(1), 39-47. doi:10.1007/s11947-010-0328-2
- Nieuwland, M., Geerdink, P., Brier, P., van den Eijnden, P., Henket, J. T. M. M., Langelaan, M. L. P., Martin, A. H. (2013). Food-grade electrospinning of proteins. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 20, 269-275. doi:10.1016/j.ifset.2013.09.004
- Ogutcu, M., Arifoglu, N., Elmas, E. T., & Yeniada, F. (2018). Preventing phase separation problem with natural waxes in sesame paste. *New knowledge Journal of science*, 7, 119-126.
- Okutan, N. (2013). Elektrodöndürme yöntemiyle elde edilen jelatin nanoliflerinin emülsiyonlarda stabilize edici olarak kullanılması. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, 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. doi:10.1016/j.foodhyd.2013.12.022
- Olaimat, A. N., Al-Nabulsi, A. A., Osaili, T. M., Al-Holy, M., Ayyash, M. M., Mehyar, G. F., Ghoush, M. A. (2017). Survival and inhibition of *Staphylococcus aureus* in commercial and hydrated tahini using acetic and citric acids. *Food Control*, 77, 179-186. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.02.022>
- Onsaard, E. (2012). Sesame proteins. *International Food Research Journal*, 19(4), 1287-1295.
- Onsaard, E., Pomsamud, P., & Audtum, P. (2010). Functional properties of sesame protein concentrates from sesame meal. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*, 3(4), 420-431.
- Ortega, F., García, M. A., & Arce, V. B. (2019). Nanocomposite films with silver nanoparticles synthesized in situ: Effect of corn starch content. *Food Hydrocolloids*, 97. doi:10.1016/j.foodhyd.2019.105200
- Orthofer, F. (2008). Applications of Emulsifiers in Baked Foods. In G. L. Hasenhuettl & R. W. Hartel (Eds.), *Food Emulsifiers and Their Applications* (pp. 263-284). Cham: Springer International Publishing.
- Osaili, T. M., & Al-Nabulsi, A. (2016). Inactivation of stressed *Escherichia coli* O157:H7 in tahini (sesame seeds paste) by gamma irradiation. *Food Control*, 69, 221-226. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.05.009>
- Özcan, M. (1993). Susam, susam yağı ve tahinde fiziksel-kimyasal analizler ve yağ asitleri bileşimlerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Özcan, M., Akgül, A. (1994). Tahinde fiziksel-kimyasal analizler ve yağ asitleri bileşiminin belirlenmesi. *Gıda*, 19(6), 411-416.
- Özdemir, E. E., Görgüç, A., Gençdağ, E., & Yılmaz, F. M. (2022). Physicochemical, functional and emulsifying properties of plant protein powder from industrial sesame processing waste as affected by spray and freeze drying. *LWT*, 154, 112646. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112646>

- Palaniappan, A., & Jakobsson, E. (2017). Fourier analysis of conservation patterns in protein secondary structure. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 15, 265-270. doi: <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2017.02.002>
- Pan, J., Ai, F., Shao, P., Chen, H., & Gao, H. (2019). Development of polyvinyl alcohol/beta-cyclodextrin antimicrobial nanofibers for fresh mushroom packaging. *Food Chemistry*, 300, 125249. doi:10.1016/j.foodchem.2019.125249
- Pearce, K. N., & Kinsella, J. E. (1978). Emulsifying properties of proteins: evaluation of a turbidimetric technique. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 26(3), 716-723. doi:10.1021/jf60217a041
- Rababah, T., Al-U'Datt, M., Al-Mahasneh, M., Odeh, A., Ajouly, T., & Feng, H. (2017). Effect of processing and storage at different temperatures on the physicochemical and minerals content of sesame seeds and tehina. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 23(5), 851-859.
- Rahmati, N. F., Koocheki, A., Varidi, M., & Kadkhodae, R. (2018). Introducing Speckled sugar bean (*Phaseolus vulgaris*) protein isolates as a new source of emulsifying agent. *Food Hydrocolloids*, 79, 498-508. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.01.022>
- Raja, K., Prabhu, C., Subramanian, K. S., & Govindaraju, K. (2021). Electrospun polyvinyl alcohol (PVA) nanofibers as carriers for hormones (IAA and GA3) delivery in seed invigoration for enhancing germination and seedling vigor of agricultural crops (groundnut and black gram). *Polymer Bulletin*, 78(11), 6429-6440. doi:10.1007/s00289-020-03435-6
- Ramsden, J.J. (2018). Chapter 1 - What is Nanotechnology?. Applied nanotechnology: The conversion of research results to products. In: Ramsden, J.J. (Ed.), (3rd ed., Part 1, pp.3-12). University of Buckingham, Buckingham, UK: William Andrew Publishing.
- Rashidi, L., & Khosravi-Darani, K. (2011). The applications of nanotechnology in food industry. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 51(8), 723-730. doi:10.1080/10408391003785417
- Ratanavaraporn, J., Rangkupan, R., Jeeratawatchai, H., Kanokpanont, S., & Damrongsakkul, S. (2010). Influences of physical and chemical crosslinking techniques on electrospun type A and B gelatin fiber mats. *International Journal of Biological Macromolecules*, 47(4), 431-438. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2010.06.008>
- Razavi, S. M. A., Habibi Najafi, M. B., & Alaee, Z. (2007). The time independent rheological properties of low fat sesame paste/date syrup blends as a function of fat substitutes and temperature. *Food Hydrocolloids*, 21(2), 198-202. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.03.008>
- Rezaeinia, H., Emadzadeh, B., & Ghorani, B. (2020). Electrospun balangu (*Lallemantia royleana*) hydrocolloid nanofiber mat as a fast-dissolving carrier for bergamot essential oil. *Food Hydrocolloids*, 100. doi:10.1016/j.foodhyd.2019.105312
- Rivas R, N., Dench, J. E., & Caygill, J. C. (1981). Nitrogen extractability of sesame (*Sesamum indicum* L.) seed and the preparation of two protein isolates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 32(6), 565-571. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740320607>
- Rusmarilin, H., Lubis, Z., Lubis, L. M., & Barutu, Y. A. P. (2019). Potential of natural antioxidants of black cumin seed (*Nigella sativa*) and sesame seed (*Sesamum indicum*) extract by microencapsulation methods. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 260, 012097. doi:10.1088/1755-1315/260/1/012097
- Saatchi, A., Kiani, H., & Labbafi, M. (2019). A new functional proteinpolysaccharide conjugate based on protein concentrate from sesame processing by-products: Functional and physico-chemical properties. *Int J Biol Macromol*, 122, 659-666. doi:10.1016/j.ijbiomac.2018.10.122

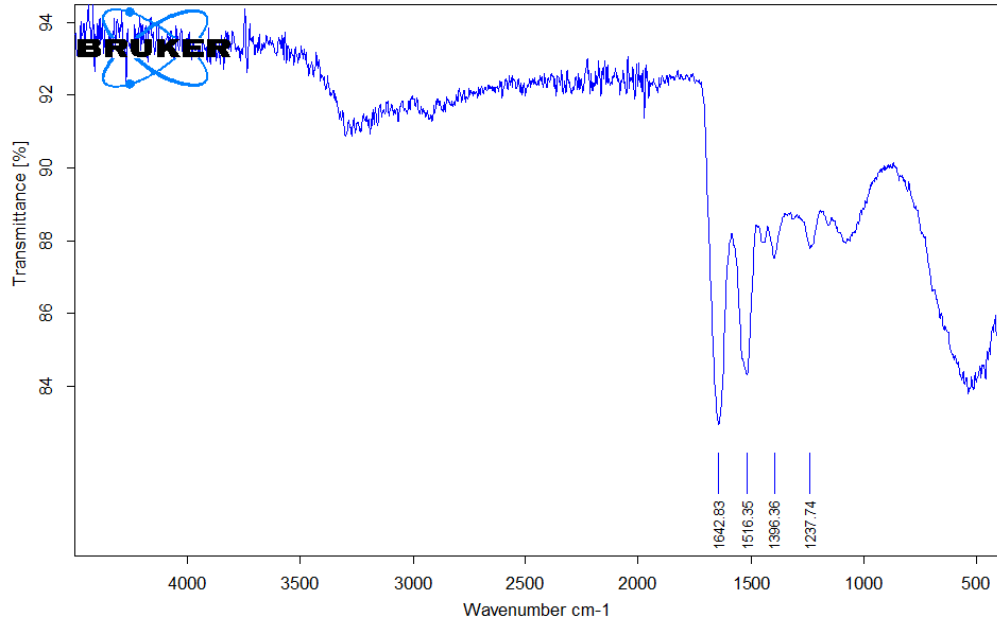
- Saatchi, A., Kiani, H., & Labbafi, M. (2021). Structural characteristics and functional properties of sesame protein concentrate–maltodextrin conjugates. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(1), 457-465. doi:10.1007/s11694-020-00655-2
- Saini, C. S., Sharma, H. K., & Sharma, L. (2018). Thermal, structural and rheological characterization of protein isolate from sesame meal. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(1), 426-432. doi:10.1007/s11694-017-9655-6
- Sanguansri, P., & Augustin, M. A. (2006). Nanoscale materials development – a food industry perspective. *Trends in Food Science & Technology*, 17(10), 547-556. doi:10.1016/j.tifs.2006.04.010
- Sarkis, J. R., Boussetta, N., Blouet, C., Tessaro, I. C., Marczak, L. D. F., & Vorobiev, E. (2015). Effect of pulsed electric fields and high voltage electrical discharges on polyphenol and protein extraction from sesame cake. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 29, 170-177. doi:10.1016/j.ifset.2015.02.011
- Shanesazzadeh, E., Kadivar, M., & Fathi, M. (2018). Production and characterization of hydrophilic and hydrophobic sunflower protein isolate nanofibers by electrospinning method. *Int J Biol Macromol*, 119, 1-7. doi:10.1016/j.ijbiomac.2018.07.132
- Sharma, L., & Singh, C. (2016). Sesame protein based edible films: Development and characterization. *Food Hydrocolloids*, 61, 139-147. doi:10.1016/j.foodhyd.2016.05.007
- Sharma, L., Singh, C., & Sharma, H. K. (2016). Assessment of functionality of sesame meal and sesame protein isolate from Indian cultivar. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 10(3), 520-526. doi:10.1007/s11694-016-9330-3
- Shi, Y., Zhao, Y., Li, X., Yan, D., Cao, D., & Fu, Z. (2018). Enhancement of the mechanical properties and thermostability of poly(vinyl alcohol) nanofibers by the incorporation of sodium chloride. *Journal of Applied Polymer Science*, 135(13), 45981. doi: https://doi.org/10.1002/app.45981
- Sozer, N., & Kokini, J. L. (2009). Nanotechnology and its applications in the food sector. *Trends Biotechnol*, 27(2), 82-89. doi:10.1016/j.tibtech.2008.10.010
- Subaşı Zarbaliyev, B. (2018). Elektropüskürtme yöntemiyle propolis yüklenmiş polivinil alkol nanopartiküllerinin üretimi ve karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Subbiah, T., Bhat, G. S., Tock, R. W., Parameswaran, S., & Ramkumar, S. S. (2005). Electrospinning of nanofibers. *Journal of Applied Polymer Science*, 96(2), 557-569. doi:10.1002/app.21481
- Swain, S. N., Rao, K. K., & Nayak, P. L. (2004). Biodegradable polymers. III. Spectral, thermal, mechanical, and morphological properties of cross-linked furfural–soy protein concentrate. *Journal of Applied Polymer Science*, 93(6), 2590-2596. doi: https://doi.org/10.1002/app.20729
- Şahin, G. (2014). Türkiye’de üretimi azalan önemli bir yağ bitkisi susam. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 3(2), 404-433.
- Tabilo-Munizaga, G., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). Rheology for the food industry. *Journal of Food Engineering*, 67(1-2), 147-156. doi:10.1016/j.jfoodeng.2004.05.062
- Tadros, T. F. (1996). Correlation of viscoelastic properties of stable and flocculated suspensions with their interparticle interactions. *Advances in Colloid and Interface Science*, 68, 97-200. doi: https://doi.org/10.1016/S0001-8686(96)90047-0
- Tan, Ş. & Kaya, G. (2000). Susam. Sekizinci beş yıllık kalkınma planı, Sanayi bitkileri alt komisyonu raporu. Erişim: 7 Eylül 2021. https://www.sbb.gov.tr/ozel-ih-tis-as-komisyonu-raporlari/#1543320522454-d482e763-f24f

- Tang, C.-H., & Sun, X. (2011). A comparative study of physicochemical and conformational properties in three vicilins from Phaseolus legumes: Implications for the structure–function relationship. *Food Hydrocolloids*, 25(3), 315-324. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.06.009>
- Tarhan, Ö., Gökmen, V., Harsa, Ş. (2010). Nanoteknolojinin Gıda Bilim ve Teknolojisi Alanındaki Uygulamaları. *Gıda*, 35(3), 219-225.
- Terzi, P. (2013). Elektrodöndürme yöntemiyle elde edilen jelatin nanoliflerinin gıdalarda kıvam verici olarak kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tounsi, L., Kchaou, H., Chaker, F., Bredai, S., & Kechaou, N. (2019). Effect of adding carob molasses on physical and nutritional quality parameters of sesame paste. *J Food Sci Technol*, 56(3), 1502-1509. doi:10.1007/s13197-019-03640-w
- Ünal, M. K. & Yalçın, H. (2008). Proximate composition of Turkish sesame seeds and characterization of their oils. *Grasas y Aceites*, 59(1), 23-26. doi:10.3989/gya.2008.v59.i1.485
- Vemuri, P. K., Yarlagadda, D. S. V., & Tatineni, J. (2019). Characterization of Sesamum indicum proteins and its immunogenic activity. *Drug Invention Today*, 11(7), 1740-1744. doi:10.6084/m9.figshare.13292189.v1
- Wang, H., Hao, L., Wang, P., Chen, M., Jiang, S., & Jiang, S. (2017). Release kinetics and antibacterial activity of curcumin loaded zein fibers. *Food Hydrocolloids*, 63, 437-446. doi:10.1016/j.foodhyd.2016.09.028
- Wang, H., Kong, L., & Ziegler, G. R. (2019). Aligned wet-electrospun starch fiber mats. *Food Hydrocolloids*, 90, 113-117. doi:10.1016/j.foodhyd.2018.12.008
- Wang, Y., Li, D., Wang, L.-J., Li, S.-J., & Adhikari, B. (2010). Effects of drying methods on the functional properties of flaxseed gum powders. *Carbohydrate Polymers*, 81(1), 128-133. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.02.005>
- Weiss, J., Takhistov, P., & McClements, D. J. (2006). Functional materials in food nanotechnology. *Journal of Food Science*, 71(9), R107-R116. doi:10.1111/j.1750-3841.2006.00195.x
- Wen, P., Zong, M.-H., Linhardt, R. J., Feng, K., & Wu, H. (2017a). Electrospinning: A novel nano-encapsulation approach for bioactive compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 70, 56-68. doi:10.1016/j.tifs.2017.10.009
- Wen, P., Wen, Y., Zong, M. H., Linhardt, R. J., & Wu, H. (2017b). Encapsulation of bioactive compound in electrospun fibers and its potential application. *J Agric Food Chem*, 65(42), 9161-9179. doi:10.1021/acs.jafc.7b02956
- Wilson, L. (2016). Spices and Flavoring Crops: Fruits and Seeds. In B. Caballero, P. M. Finglas, & F. Toldrá (Eds.), *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 73-83). Oxford: Academic Press.
- Woerdeman, D. L., Shenoy, S., & Breger, D. (2007). Effects of hydroxyl groups versus physical entanglements on the electrospinning behavior of wheat protein. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 1(1), 31-36. doi:10.1166/jbmb.2007.1977
- Xue, F., Li, C., Zhu, X., Wang, L., & Pan, S. (2013). Comparative studies on the physicochemical properties of soy protein isolate-maltodextrin and soy protein isolate-gum acacia conjugate prepared through Maillard reaction. *Food Research International*, 51(2), 490-495. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.01.012>
- Xue, J., Wu, T., Dai, Y., & Xia, Y. (2019). Electrospinning and Electrospun Nanofibers: Methods, Materials, and Applications. *Chem Rev*, 119(8), 5298-5415. doi:10.1021/acs.chemrev.8b00593

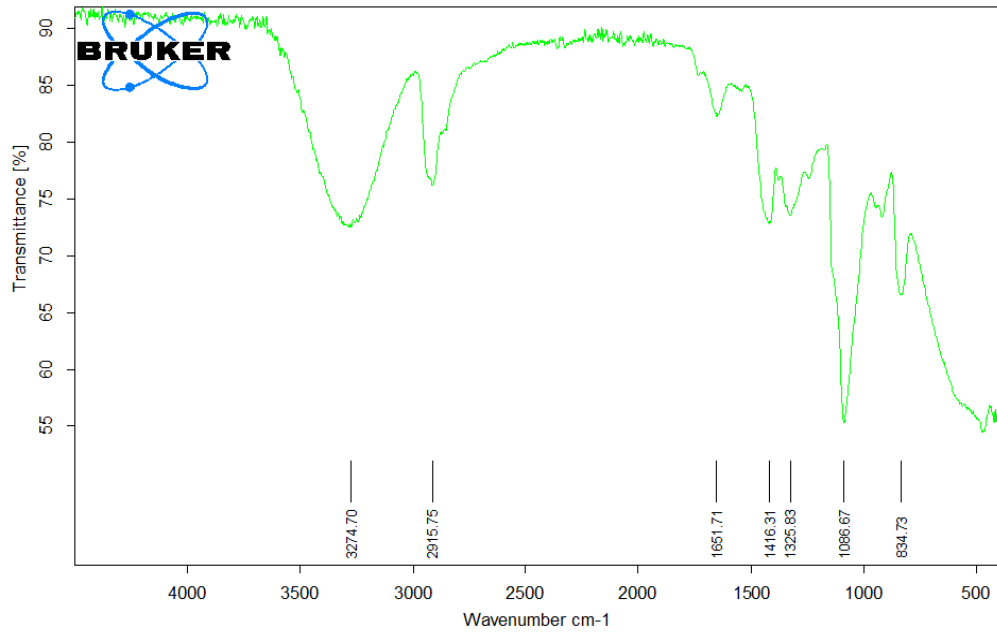
- Xue, J., Xie, J., Liu, W., & Xia, Y. (2017). Electrospun nanofibers: New concepts, materials, and applications. *Acc Chem Res*, 50(8), 1976-1987. doi:10.1021/acs.accounts.7b00218
- Yang, M., Liu, F., & Tang, C.-H. (2013). Properties and microstructure of transglutaminase-set soy protein-stabilized emulsion gels. *Food Research International*, 52(1), 409-418. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.11.012>
- Yang, Y. N., Lu, K. Y., Wang, P., Ho, Y. C., Tsai, M. L., & Mi, F. L. (2020). Development of bacterial cellulose/chitin multi-nano fibers based smart films containing natural active microspheres and nanoparticles formed in situ. *Carbohydr Polym*, 228, 115370. doi:10.1016/j.carbpol.2019.115370
- Yang, K., Xu, T. R., Fu, Y. H., Cai, M., Xia, Q. L., Guan, R. F., Sun, P. L. (2021). Effects of ultrasonic pre-treatment on physicochemical properties of proteins extracted from cold-pressed sesame cake. *Food Res Int*, 139, 109907. doi:10.1016/j.foodres.2020.109907
- Yetkin, E. (2019). Tahinde faz ayrımı üzerine bazı liflerin ve lesitinin etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Yılmaz, T. (2015). E vitamininin elektrodöndürme yöntemiyle enkapsülasyonu ve elektrodöndürmeyi etkileyen parametrelerin incelenmesi, nanoliflerin karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Zamani, M., Prabhakaran, M. P., & Ramakrishna, S. (2013). Advances in drug delivery via electrospun and electrosprayed nanomaterials. *Int J Nanomedicine*, 8, 2997-3017. doi:10.2147/IJN.S43575

# EKLER

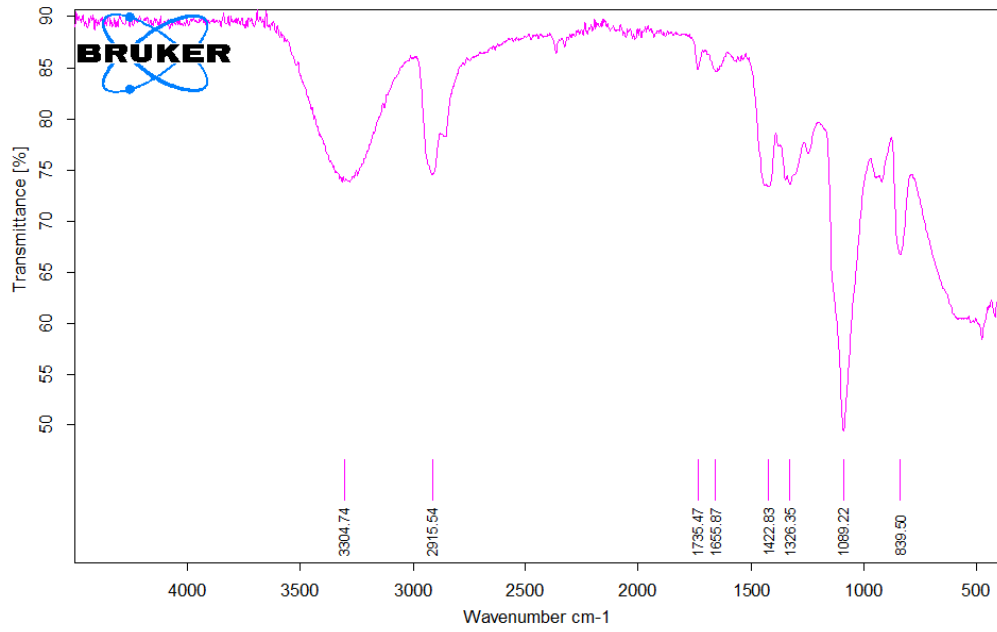
## Ek 1. SPI'nin FTIR Spektrumu



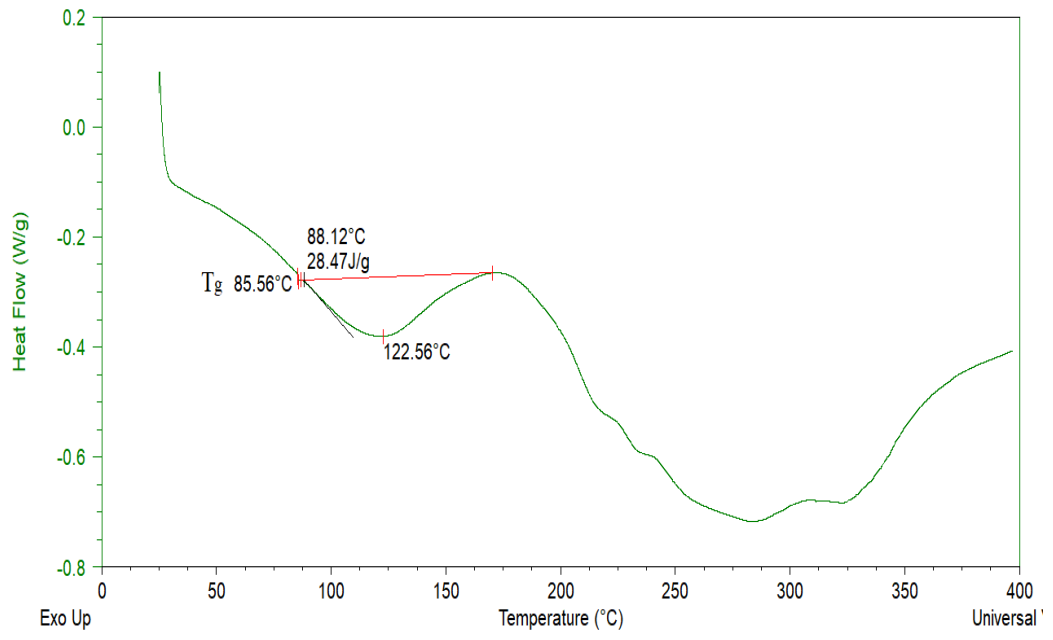
## Ek 2. SPINL'nn FTIR Spektrumu



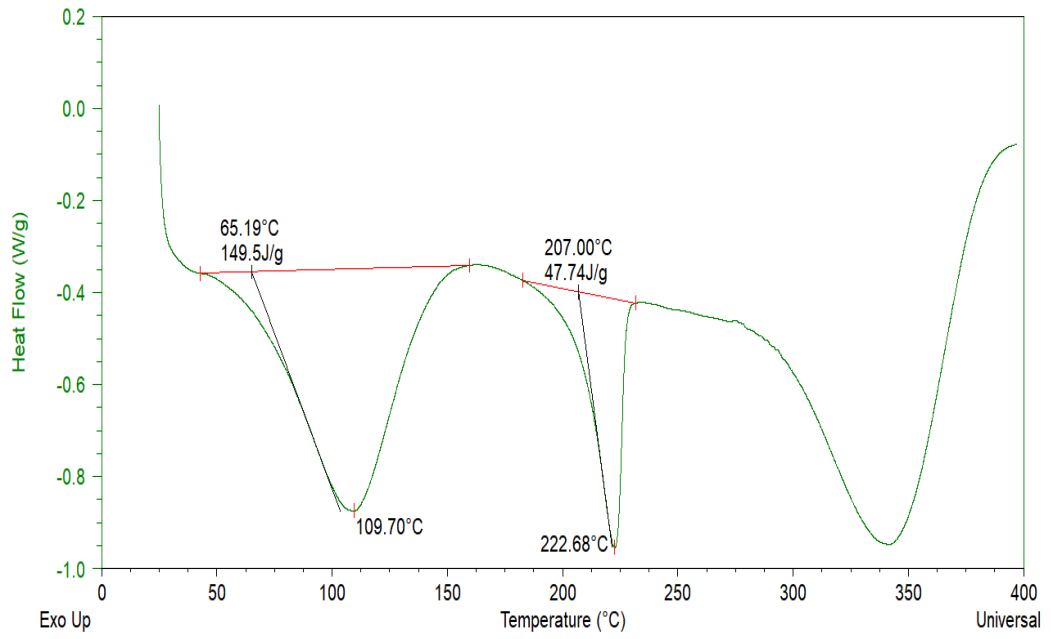
### Ek 3. PVANL'nin FTIR Spektrumu



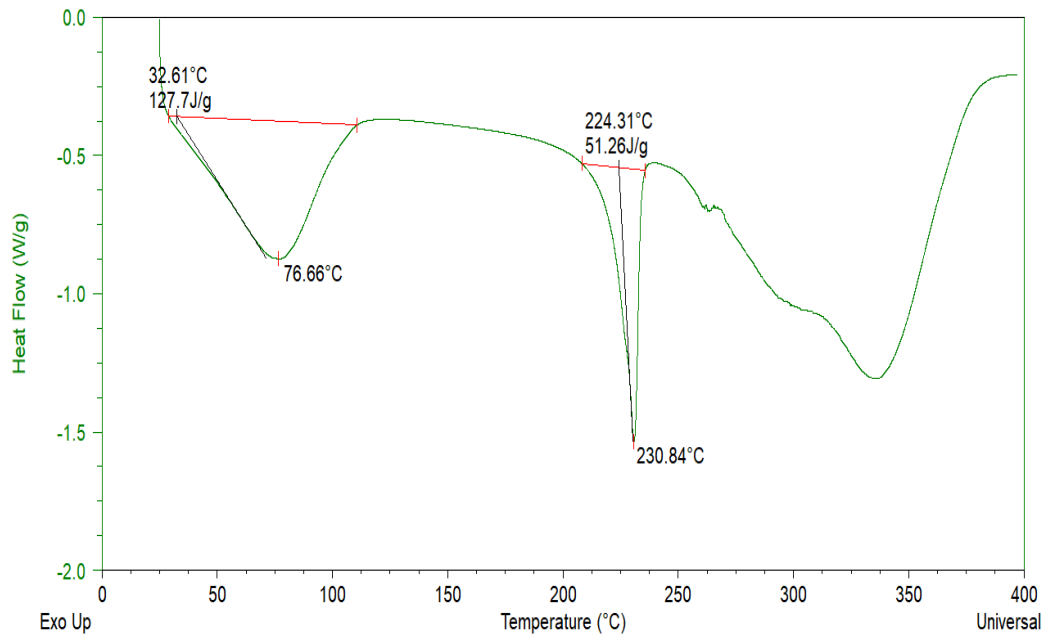
#### Ek 4. SPI'nin DSC Termogramı



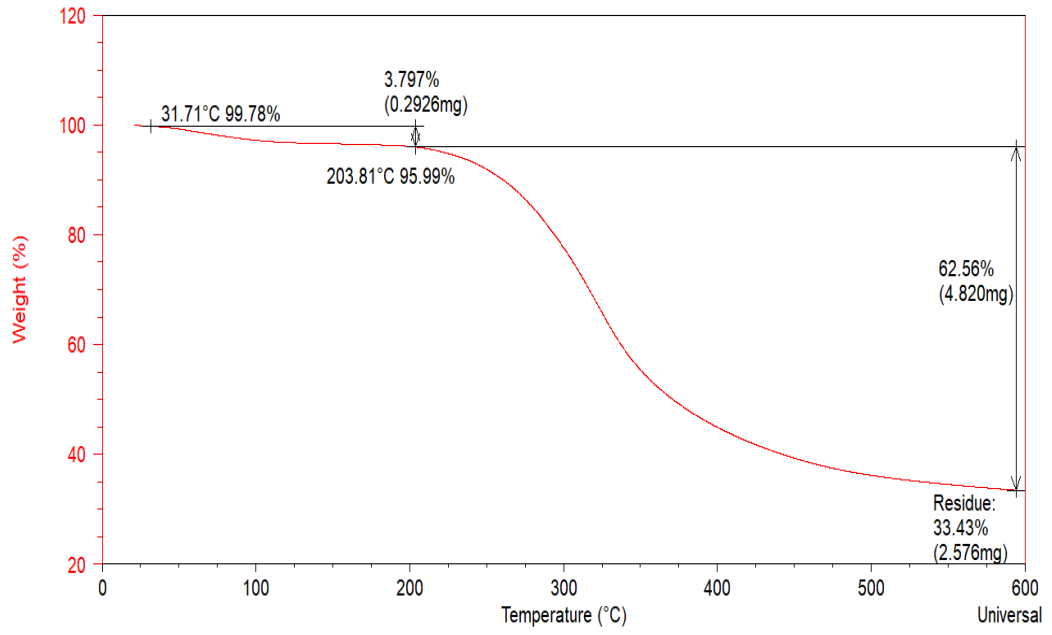
### Ek 5. SPINL'nn DSC Termogramı



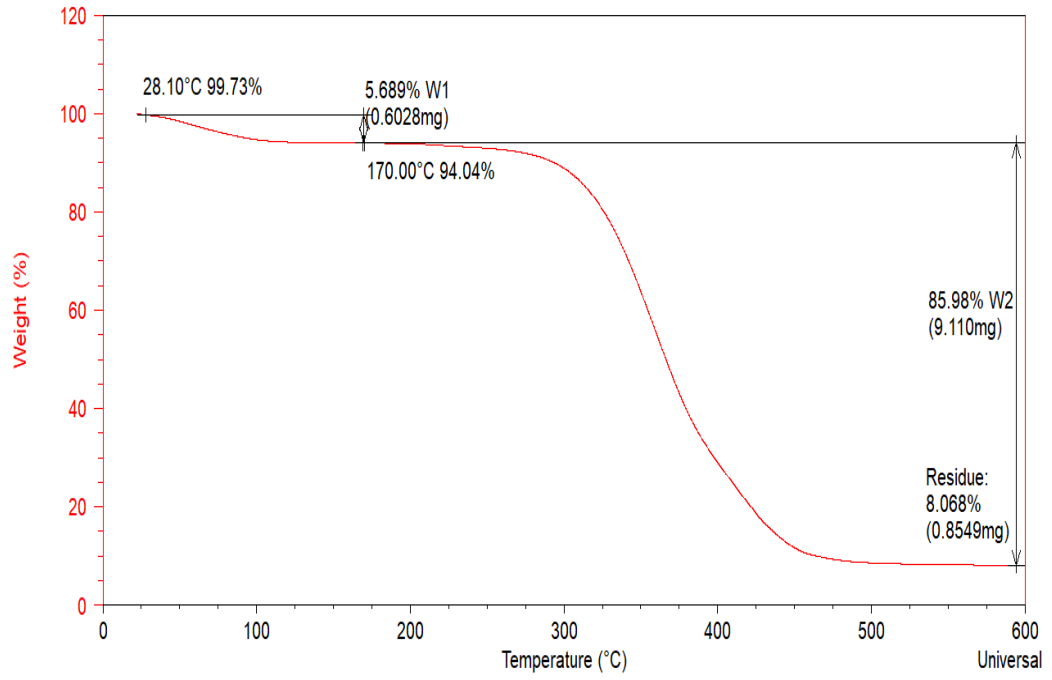
### Ek 6. PVANL'nin DSC Termogramı



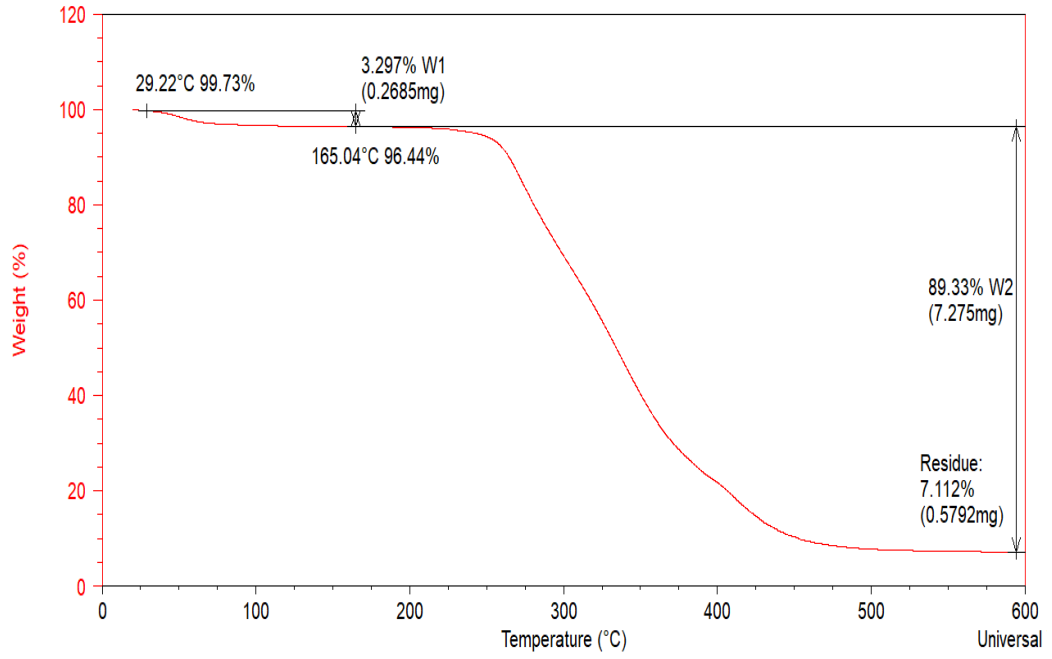
## Ek 7. SPI'nin TGA Termogramı



## Ek 8. SPINL'nin TGA Termogramı



## Ek 9. PVANL'nın TGA Termogramı



## ÖZ GEÇMİŞ

Mustafa Onur Yüzer, Sivas Cumhuriyet Anadolu Lisesi'ni bitirdikten sonra Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nden 2013 yılında mezun oldu. 2015 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Yüksek Lisans programını bitirdi. Mezuniyetinden bu yana Bayburt Üniversitesi'nde Öğretim Görevlisi olarak görev yapan Yüzer, orta derecede İngilizce bilmektedir. 2017 yılında OMÜ LEE Gıda Mühendisliği Doktora programına girdi. (02.12.2021).

### İletişim Bilgileri

Öğrenci No : 16210449

ORCID ID : 0000-0002-8192-2298

### Yayınlanmış Çalışmalar:

#### Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

1. Oz, F., & Yuzer, M. O. (2016). The effects of cooking on wire and stone barbecue at different cooking levels on the formation of heterocyclic aromatic amines and polycyclic aromatic hydrocarbons in beef steak. *Food Chemistry*, 203, 59-66. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.041
2. Oz, F., & Yuzer, M. O. (2017). The effects of different cooking methods on the formation of heterocyclic aromatic amines in turkey meat. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(5), e13196. doi:https://doi.org/10.1111/jfpp.13196
3. İspirli, H., Demirbaş, F., Yüzer, M. O., & Dertli, E. (2018). Identification of Lactic Acid Bacteria from Spontaneous Rye Sourdough and Determination of Their Functional Characteristics. *Food Biotechnology*, 32(3), 222-235. doi:10.1080/08905436.2018.1507913
4. İspirli, H., Yüzer, M. O., Skory, C., Colquhoun, I. J., Sağdıç, O., & Dertli, E. (2019). Characterization of a glucansucrase from *Lactobacillus reuteri* E81 and production of malto-oligosaccharides. *Biocatalysis and Biotransformation*, 37(6), 421-430. doi:10.1080/10242422.2019.1593969
5. Purutoğlu, K., İspirli, H., Yüzer, M. O., Serencam, H., & Dertli, E. (2020). Diversity and functional characteristics of lactic acid bacteria from traditional kefir grains. *International Journal of Dairy Technology*, 73(1), 57-66. doi:https://doi.org/10.1111/1471-0307.12633

#### Ulusal hakemli dergilerde yayımlanan makaleler :

1. Bayram, N., Yüzer, M.O. & Bayram, S. (2019). Melissopalynology analysis, physicochemical properties, multi-element content and antimicrobial activity of honey samples collected from Bayburt, Turkey. *Uludağ Arıcılık Dergisi* , 19 (2), 161-176. doi: 10.31467/uluaricilik.618289

### **Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler :**

1. Yüzer, M.O., Genççelep, H., Elbir, T. (2017) Kırmızı Ette Miyogloblin ve Lipid Oksidasyonları Arasındaki Etkileşimler. (21.09.2017-23.09.2017), 2nd International Conference on Advanced Engineering Technologies, Bayburt.
2. Elbir, T., Genççelep, H., Yüzer, M.O. (2017). Enzyme-Assisted Extraction Methods For Oil Extraction From Oilseeds. International Conference on Advanced Engineering Technologies
3. Elbir, T., Genççelep, H., Yüzer, M.O. (2017). Oleojeller ve Gıda Endüstrisinde Kullanımı. International Conference on Advanced Engineering Technologies
4. Yüzer, M.O., Bayram Ecem, N. (2017) Sugar (Fructose, Glucose) Profile of Honey Samples Obtained From The Market. (21.09.2017-23.09.2017), 2nd International Conference on Advanced Engineering Technologies, Bayburt.
5. Yüzer, M.O., Elbir, T., Genççelep, H. (2018) Some Properties of Fresh and Dried Oyster Mushroom (*Pleurotus ostreatus*). (26.04.2018-29.04.2018), International Congress on Engineering And Life Science, Kastamonu.
6. Elbir, T., Yüzer, M.O., Genççelep, H. (2018). Some Physicochemical Properties and Emulsion Forming Properties of Wheat Germ. International Congress on Engineering and Life Science.
7. Bayram Ecem, N., Yüzer, M.O., Bayram, S. (2018). Melissopalynological, physicochemical and antimicrobial characteristics of honey samples produced in Bayburt, Turkey. 6th International Muğla Beekeeping and Pine Honey Congress, 282-283.
8. Bayram Ecem, N., Yüzer, M.O. (2019). Some Physicochemical Properties of Honey Samples from Black Sea Region. 3rd International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET), 776-780.
9. Bayram Ecem, N., Yüzer, M.O., Bayram, S. (2019). Volatile Compounds of Honey Samples from Different Sources. 3rd International Conference on Advanced Engineering Technologies, 755-759.
10. Yüzer, M.O., Genççelep, H. (2021). A Study On The Production Of Protein Concentrate From Sesame Bran. Vth International Eurasian Agriculture and Natural Sciences Congress
11. Yüzer, M.O., Genççelep, H. (2021). Chemical Composition Of Sesame Bran As A By-Product In Tahini Production. Vth International Eurasian Agriculture and Natural Sciences Congress.

### **Kazanılan Ödüller, Teşvikler ve Burslar**

1. 2015, TÜBİTAK 2211 - Yurt İçi Lisansüstü Burs Programı