

**T.C.**  
**KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**FARKLI TEKNİKLERLE MODİFİYE EDİLEN SUSAM  
PROTEİNİNİN TAHİNDE FAZ AYRIMI ÜZERİNE ETKİSİ**

**MELİKE ŞEYDA ŞAHİN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**PROF. DR. OSMAN GÜL**

**HAZİRAN - 2024**

**KASTAMONU**

## TEZ ONAYI

**Melike Şeyda ŞAHİN** tarafından hazırlanan “**Farklı Tekniklerle Modifiye Edilen Susam Proteininin Tahinde Faz Ayrımı Üzerine Etkisi**“ adlı tez çalışmasının savunma sınavı **27.06.2024** tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

<b>Danışman</b>	Prof. Dr. Osman GÜL Kastamonu Üniversitesi	.....
<b>Jüri Üyesi</b>	Doç. Dr. Deren TAHMAS KAHYAOĞLU Kastamonu Üniversitesi	.....
<b>Jüri Üyesi</b>	Doç. Dr. İlyas ATALAR Eskişehir Osmangazi Üniversitesi	.....

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Enstitü Müdürü Doç. Dr. Selçuk MEMİŞ .....

## TAAHHÜTNAME

*Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu; ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.*

**Melike Şeyda ŞAHİN**

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### FARKLI TEKNİKLERLE MODİFİYE EDİLEN SUSAM PROTEİNİNİN TAHİNDE FAZ AYRIMI ÜZERİNE ETKİSİ

MELİKE ŞEYDA ŞAHİN

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI  
DANIŞMAN: PROF. DR. OSMAN GÜL

Tahin yağ içinde protein içeren hidrofilik partiküllerin oluşturduğu konsantre kolloidal bir süspansiyon olmasından dolayı depolama sırasında yoğunluk farkı nedeniyle yağ fazının ayrılması ve yapıyı oluşturan partiküllerin zamanla çökmesi gibi fiziksel bozulmalara maruz kalmaktadır. Katı partiküllerin sedimentasyonu ve yağ fazının ayrılması doğal bir olay olmasına rağmen tüketiciler tarafından arzu edilmemekte, ürünün bozuk veya kalitesiz olarak algılanmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada termal olmayan yeni işleme teknikleri ile modifiye edilmiş susam protein izolatının tahinde meydana gelen faz ayrımı ve oksidasyon problemlerinin giderilmesinde ve depolama stabilitesinin iyileştirilmesinde kullanım potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda susam küspesinden ekstrakte edilen modifiye edilmeyen susam protein izolatı ile yüksek basınçlı homojenizasyon (YBH), ultrases (US) ve yüksek hidrostatik basınç (YHB) ile modifiye edilen susam protein izolatı tahine ilave edilmiş ve tahinin fizikokimyasal, reolojik ve duyusal özellikleri ile depolama stabilitesi belirlenmiştir. Modifiye edilmemiş ve modifiye edilmiş susam protein izolatlarının fiziksel ve teknolojik özellikleri de araştırılmıştır.

Protein izolatının partikül boyutu 65,73  $\mu\text{m}$ 'den 1,48  $\mu\text{m}$ 'ye kadar azalmış, zeta potansiyeli ise yaklaşık 18 mv düzeyinde artış göstermiştir. Başlangıçta %58,03 olan proteinin suda çözünürlüğü modifikasyonla birlikte %88,18'e kadar ulaşmıştır. Örneklerde en yüksek yağ bağlama kapasitesi ile emülsiyon aktivite indeksi (EAI) ve emülsiyon stabilite indeksi (ESI) YBH ile modifiye edilen protein izolatlarında tespit edilmiştir.

Tahine susam proteini ilavesi genel olarak kurumadde ve protein içeriğinde artışa neden olmuş, protein ilaveli örnekler arasında önemli bir fark gözlenmemiştir. Susam proteini ilavesi, protein ilavesi yapılmayan tahin örneğine (kontrol) kıyasla tahinde hızlandırılmış faz ayrılmasını %48'e kadar azaltmış ve ayrıca tahin örneklerinin zeta potansiyelini, sertliğini ve sürülebilirliğini önemli ölçüde iyileştirmiştir. Ancak peroksit ve serbest yağ asitliği değerlerinde kısmi bir artışa neden olmuştur.

Susam proteininin tahine ilavesi ve modifikasyon işleminin renk farklılığına neden olmasına rağmen gözle görülür fark algılanmamaktadır. Modifiye protein ilavesi ile tahin örneklerinin mikroyapıları kontrol örneğine kıyasla daha yoğun ve kompakt bir görünüm kazanmış, daha az topaklanma meydana gelmiştir. Duyusal açıdan tahine protein ilavesi önemli bir değişikliğe neden olmamıştır. Tahin örneklerinin akış özellikleri Herschel-Bulkley modeline tam uyum ( $R^2 > 0,9999$ ) sağlamıştır. Protein ilavesi ve ilave edilen proteinin farklı yöntemlerle modifikasyonu da tahin örneklerinin akış özelliklerinin iyileştirilmesinde önemli rol oynamıştır. Susam proteini ilavesiyle viskoelastik karakterde önemli iyileşme tespit edilmiştir.

Hızlandırılmış yağ ayrılması analizi sonucu ile uyumlu olarak 4°C, 25°C ve 40°C'de depolanan örneklerde en fazla yağ ayrılması kontrol örneğinde gözlenmiş, tahine protein ilavesi yağ ayrılmasını azaltmıştır. Genel olarak değerlendirildiğinde, modifiye susam proteininin tahinde faz ayrımını depolama süresince en az %20 oranında azaltmıştır. Buna karşılık YBH teknolojisiyle modifiye edilmiş susam proteininin tahinin kalitesini artırma ve faz ayrılmasını önleme konusunda önemli bir potansiyele sahiptir.

**ANAHTAR KELİMELER:**Tahin, Susam Protein İzolatı, Protein Modifikasyonu, Yüksek Hidrostatik Basınç, Ultrasonikasyon, Yüksek Basınçlı Homojenizasyon, Depolama Stabilitesi

Haziran 2024, 120 Sayfa



## **ABSTRACT**

### **MSC THESIS**

#### **EFFECT OF SESAME PROTEIN MODIFIED BY DIFFERENT TECHNIQUES ON PHASE SEPARATION IN TAHINI**

**MELİKE ŞEYDA ŞAHİN**

**KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
DEPARTMENT OF FOOD ENGINEERING  
SUPERVISOR: PROF. DR. OSMAN GÜL**

Since tahini is a concentrated colloidal suspension consisting of hydrophilic particles containing protein in oil, it is exposed to physical deterioration, such as separation of the oil phase due to density difference during storage and precipitation of the particles forming the structure over time. Although sedimentation of solid particles and separation of the oil phase is a natural phenomenon, it is not desired by consumers and causes the product to be perceived as defective or of poor quality. In this study, it was aimed to determine the potential for use of sesame protein isolate modified with new non-thermal processing techniques in eliminating phase separation and oxidation problems in tahini and improving storage stability. In this context, unmodified sesame protein isolate extracted from sesame cake and sesame protein isolate modified with high-pressure homogenization (HPH), ultrasonication (US) and high hydrostatic pressure (HB) were added to tahini and the physicochemical, rheological and sensory properties and storage stability of tahini were determined. The addition of sesame protein to tahini generally caused an increase in the dry matter and protein content, and no significant difference was observed between the protein-added samples. Compared to the sample without protein addition (control), protein addition significantly reduced the phase separation in tahini. However, it caused an increase in peroxide and free fatty acid values. The physical and technological properties of unmodified and modified sesame protein isolates were also investigated.

The particle size of the protein isolate decreased from 65.73  $\mu\text{m}$  to 1.48  $\mu\text{m}$ , and the zeta potential increased by approximately 18 mV. The water solubility of the protein, which was initially 58.03%, reached up to 88.18% with modification of sesame protein. In the samples, the highest oil binding capacity, emulsion activity index (EAI) and emulsion stability index (ESI) were detected in protein isolates modified with HPH.

The addition of sesame protein to tahini generally caused an increase in the dry matter and protein content, however, no significant difference was observed between the protein-added samples. Sesame protein addition reduced accelerated phase separation in tahini by up to 48% compared to the tahini sample without protein addition (control). It also significantly improved the zeta potential, firmness, and spreadability of the tahini samples. However, it caused a partial increase in peroxide and free fatty acid values ( $P>0.05$ ).

Although adding sesame protein to tahini and the modification process cause a color difference, no visible difference can be detected. With the addition of sesame protein isolate, the tahini samples formed a denser and more compact appearance, and had fewer lumps than

the control sample. From a sensory perspective, adding protein to tahini did not cause a significant change. The flow characteristics of tahini samples were better fitted by the Herschel-Bulkley model ( $R^2 > 0.9999$ ) by the other models, and adding protein and modifying the added protein with different methods also played an essential role in improving the flow properties of tahini samples. Significant improvement in viscoelastic character was detected with the addition of sesame protein. Consistent with the accelerated oil separation analysis results, the highest oil separation in the samples stored at 4 °C, 25 °C, and 40 °C was observed in the control sample, and adding protein to tahini reduced the oil separation. Overall, modified sesame protein reduced phase separation in tahini by at least 20% during storage. the results indicated that sesame protein modified with HPH technology has a significant potential to improve the quality of tahini and prevent phase separation.

**KEYWORDS:** Tahini, Sesame Protein Isolate, Protein Modification, High Hydrostatic Pressure, Ultrasonication, High Pressure Homogenization, Storage Stability

June 2024, 120 Page



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen, çeşitli projelere katılmamı sağlayan, tezimin her aşamasında beni yönlendiren ve öğrencisi olmaktan gurur duyduğum değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Osman GÜL'e sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu yüksek lisans tezi, TÜBİTAK ARDEB tarafından 1200773 numaralı 1001-Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projesi olarak desteklenmiş olup maddi desteği sağladığı için TÜBİTAK kurumuna teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarım boyunca desteklerini ve tecrübelerini benden esirgemeyen değerli arkadaşlarım Merve ÇELİK, Tuğba BASKINCI ve İannie MARIBAO 'ya, hammadde temininde yardımcı olan MND Gıda firmasında üretim müdürü Sayın Nuryağdı CHARIYEV'e, her daim beni motive eden desteklerini esirgemeyen değerli arkadaşım Onur ULUS a teşekkürü borç bilirim.

Son olarak bugünlere gelmemde maddi ve manevi emeklerini hiçbir zaman esirgemeyen beni her zaman cesaretlendiren ve dualarını her zaman hissettiğim canım aileme teşekkürlerimi sunarım.

MELİKE ŞEYDA ŞAHİN

Kastamonu, 2024

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>TEZ ONAYI</b> .....	<b>ii</b>
<b>TAAHHÜTNAME</b> .....	<b>iii</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>viii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>ix</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>TABLolar DİZİNİ</b> .....	<b>xiv</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>xv</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. GENEL BİLGİLER</b> .....	<b>4</b>
2.1 Susam.....	4
2.2 Tahin .....	7
2.3 Tahin Üretimi.....	8
2.4 Tahindeki Problemler.....	12
2.4.1 Faz Ayrımı.....	12
2.4.2 Oksidasyon .....	15
2.5 Proteinler ve Fonksiyonel Özellikleri .....	16
2.6 Susam Proteinini Özellikleri .....	19
2.7 Proteinlerin Fonksiyonel Özelliklerinin Geliştirilmesi .....	20
2.8 Ultrases (US) İle Protein Modifikasyonu .....	22
2.9 Yüksek Basıncılı Homojenizasyon (YBH) İle Protein Modifikasyonu .....	25
2.10 Yüksek Hidrostatik Basınç (YHB) Tekniği İle Protein Modifikasyonu .....	28
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>31</b>
3.1 Materyal .....	31
3.2 Yöntem.....	31
3.2.1 Yağ Ekstraksiyonu .....	31
3.2.2 Susam Posasından Proteinin Ekstraksiyonu.....	32
3.2.3 Susam Protein İzolatının Modifikasyonu.....	33
3.2.4 Modifiye Susam Proteinlerin Tahine İlavesi.....	35
3.2.5 Gerçekleştirilen Analizler .....	37
3.2.5.1 Partikül boyutu .....	37
3.2.5.2 Zeta potansiyeli .....	38
3.2.5.3 Protein çözünürlüğü .....	38
3.2.5.4 Emülsiyon özellikleri .....	38
3.2.5.5 Yağ bağlama kapasitesi.....	39
3.2.5.6 Kuru madde analizi .....	40
3.2.5.7 Protein analizi.....	40
3.2.5.8 Yağ analizi .....	41
3.2.5.9 Kül analizi .....	41
3.2.5.10 pH analizi .....	42
3.2.5.11 Hızlandırılmış yağ ayrılması analizi .....	42

3.2.5.12 Serbest yağ asitliği (SYA) analizi .....	42
3.2.5.13 Peroksit değeri.....	43
3.2.5.14 Renk analizi.....	43
3.2.5.15 Mikroyapının belirlenmesi .....	44
3.2.5.16 Zeta potansiyeli analizi .....	44
3.2.5.17 Tekstür profil analizi .....	44
3.2.5.18 Reolojik analizler .....	44
3.2.5.18.1 Akış özellikleri.....	44
3.2.5.18.2 Dinamik reolojik özellikler .....	45
3.2.5.19 Duyusal analiz.....	46
3.2.5.20 Depolama stabilitesi .....	47
3.2.6 İstatiksel Analizler.....	48
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>49</b>
4.1 Susam Proteininin Özellikleri .....	49
4.1.1 Partikül Boyutu ve Zeta Potansiyeli.....	49
4.1.2 Protein Çözünürlüğü .....	51
4.1.3 Emülsiyon Özelliği.....	52
4.1.4 Yağ Bağlama Kapasitesi .....	55
4.2 Tahinin Özellikleri .....	57
4.2.1 Kurumadde Miktarı .....	57
4.2.2 Protein Miktarı .....	58
4.2.3 Yağ Miktarı .....	58
4.2.4 Kül Miktarı .....	58
4.2.5 pH.....	59
4.2.6 Hızlandırılmış Yağ Ayrılması .....	60
4.2.7 Serbest Yağ Asitliği (SYA).....	62
4.2.8 Peroksit Değeri.....	63
4.2.9 Renk Özellikleri .....	64
4.2.10 Mikroyapının Belirlenmesi .....	66
4.2.11 Zeta Potansiyeli .....	68
4.2.12 Tekstür Profil Analizi.....	69
4.2.12.1 Sıklık .....	69
4.2.12.2 Sürülebilirlik .....	70
4.2.13 Reolojik Özellikleri .....	72
4.2.13.1 Akış özellikleri.....	72
4.2.13.2 Dinamik reolojik özellikler .....	79
4.2.14 Duyusal Özellikler.....	81
4.2.15 Depolama Stabilitesi .....	83
4.2.15.1 Faz ayrımı.....	83
4.2.15.2 Oksidatif stabilite .....	87
4.2.16 Kinetik Modelleme.....	93
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>103</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>107</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>120</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1 2021 yılında Dünyada susam üretim alanları ve miktarları .....	5
Şekil 2.2 Tahin üretim akış şeması .....	10
Şekil 2.3 Sonotrot (a) ve su banyosu (b) ile ultrases mekanizmasının şematik diyagramı .....	24
Şekil 3.1 Susamdan soğuk pres yağ ekstraksiyonu .....	32
Şekil 3.2 A: Ekstraksiyon sonrası ayrılan protein; B: Kurutulmamış susam protein ekstraktı, C: Liyofilizasyon sonrası susam protein ekstraktı, D: Öğütülmüş susam protein tozu .....	33
Şekil 3.3 Modifiye olmamış ve modifiye susam protein izolatları. A; İşlenmemiş susam protein izolatı, B; 100 MPa YBH ile modifiye edilmiş susam protein izolatı, C; 6 dk boyunca US ile modifiye edilmiş susam protein izolatı, D; 400 MPa YHB ile modifiye edilmiş susam protein izolatı .....	35
Şekil 3.4 Depolama öncesi tüplerde ve numune kaplarında hazırlanan tahin örnekleri .....	36
Şekil 3.5 4°C, 25°C ve 40°C’de depolanan tahin örnekleri .....	37
Şekil 4.1 Kontrol ve farklı yöntemlerle modifiye edilen susam protein izolatlarının çözünürlüğü.....	52
Şekil 4.2 Kontrol ve farklı yöntemlerle modifiye edilen susam protein izolatlarının EAI değerleri.....	54
Şekil 4.3 Kontrol ve farklı yöntemlerle modifiye edilen susam protein izolatlarının ESI değerleri .....	54
Şekil 4.4 Kontrol ve farklı yöntemlerle modifiye edilen susam protein izolatlarının yağ bağlama kapasiteleri.....	56
Şekil 4.5 Farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerin ve proteinsiz kontrol tahininin hızlandırılmış yağ ayrılması (%) sonuçları .....	61
Şekil 4.6 Farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerin ve protein eklenmemiş kontrol tahininin serbest yağ asitliği (%) değerleri.....	62
Şekil 4.7 Farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerin ve protein eklenmemiş kontrol tahininin peroksit değerleri (meq O <sub>2</sub> /kg) .....	64
Şekil 4.8 Farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerin ve protein eklenmemiş kontrol tahininin mikroskop (40x) görüntüleri .....	67
Şekil 4.9 Farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerin ve protein eklenmemiş kontrol tahininin zeta potansiyel (mV) değerleri.....	68
Şekil 4.10 Farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerle zenginleştirilmiş tahinlerin ve protein eklenmemiş kontrol tahininin sıklık (g) değerleri.....	70

Şekil 4.11 Farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerin ve protein eklenmemiş kontrol tahininin sürülebilirlik (g.s) değerleri.....	71
Şekil 4.12 Farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerin ve protein eklenmemiş kontrol tahininin viskozite grafikleri ve Ostwald de Waele modelinden elde edilen teorik sonuçlar.....	73
Şekil 4.13 Farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerin ve protein eklenmemiş kontrol tahininin viskozite grafikleri ve Bingham modelinden elde edilen teorik sonuçlar .....	76
Şekil 4.14 Farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerin ve protein eklenmemiş kontrol tahininin viskozite grafikleri ve Herschel-Barkley modelinden elde edilen teorik sonuçlar.....	78
Şekil 4.15 Tahin örneklerinin depo ve kayıp modellerinin frekansa bağlı değişimi .....	79
Şekil 4.16 4 °C’de depolanan farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerde ve protein eklenmemiş kontrol tahinde meydana gelen faz ayrımı .....	84
Şekil 4.17 25°C’de depolanan farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerde ve protein eklenmemiş kontrol tahinde meydana gelen faz ayrımı .....	85
Şekil 4.18 40°C’de depolanan farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerde ve protein eklenmemiş kontrol tahinde meydana gelen faz ayrımı .....	86
Şekil 4.19 4°C’de depolanan farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerde ve protein eklenmemiş kontrol tahinde meydana gelen serbest yağ asidi (SYA) değişimi .....	88
Şekil 4.20 25°C’de depolanan farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerde ve protein eklenmemiş kontrol tahinde meydana gelen serbest yağ asidi (SYA) değişimi .....	89
Şekil 4.21 40°C’de depolanan farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerde ve protein eklenmemiş kontrol tahinde meydana gelen serbest yağ asidi (SYA) değişimi .....	89
Şekil 4.23 4°C’de depolanan farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerde ve protein eklenmemiş kontrol tahinde meydana gelen peroksit değişimi.....	91
Şekil 4.24 25°C’de depolanan farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerde ve protein eklenmemiş kontrol tahinde meydana gelen peroksit değişimi.....	92
Şekil 4.25 40°C’de depolanan farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerde ve protein eklenmemiş kontrol tahinde meydana gelen peroksit değişimi.....	92
Şekil 4.25 4°C’de depolama süresinin bir fonksiyonu olarak tahin örneklerinde faz ayrımının kinetik değişimi .....	96

Şekil 4.26 25°C’de depolama süresinin bir fonksiyonu olarak tahin örneklerinde faz ayrımının kinetik değişimi .....	97
Şekil 4.27 40°C’de depolama süresinin bir fonksiyonu olarak tahin örneklerinde faz ayrımının kinetik değişimi .....	97
Şekil 4.28 4°C’de depolama süresinin bir fonksiyonu olarak tahin örneklerinde SYA (%) değerlerinin kinetik değişimi .....	99
Şekil 4.29 25°C’de depolama süresinin bir fonksiyonu olarak tahin örneklerinde SYA (%) değerlerinin kinetik değişimi .....	99
Şekil 4.30 40°C’de depolama süresinin bir fonksiyonu olarak tahin örneklerinde SYA (%) değerlerinin kinetik değişimi .....	100
Şekil 4.31 4°C’de depolama süresinin bir fonksiyonu olarak tahin örneklerinde peroksit (meq O <sub>2</sub> /kg) değerlerinin kinetik değişimi .....	101
Şekil 4.32 25°C’de depolama süresinin bir fonksiyonu olarak tahin örneklerinde peroksit (meq O <sub>2</sub> /kg) değerlerinin kinetik değişimi .....	101
Şekil 4.33 40 °C’de depolama süresinin bir fonksiyonu olarak tahin örneklerinde peroksit (meq O <sub>2</sub> /kg) değerlerinin kinetik değişimi .....	102

## TABLolar DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Tablo 2.1 Susam tohumlarının besin bileşimi.....	6
Tablo 2.2 Tahinin ortalama bileşimi .....	8
Tablo 3.1 Çalışmada kullanılan tahinin bazı özellikleri.....	31
Tablo 3.2 Tahin örneklerinin duyuşal değerlendirme formu ve puanlama test skalası .....	46
Tablo 4.1 Kontrol ve farklı yöntemlerle modifiye edilen susam protein izolatlarının partikül boyutu ve zeta potansiyeli .....	49
Tablo 4.2 Farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerin ve proteinsiz kontrol tahininin fizikokimyasal özellikleri.....	57
Tablo 4.3 Farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerin ve protein eklenmemiş kontrol tahininin renk özellikleri .....	65
Tablo 4.4 Ostwald de Waele model parametreleri.....	74
Tablo 4.5 Bingham modeli parametreleri .....	76
Tablo 4.6 Herschel-Barkley modeli parametreleri.....	78
Tablo 4.7 Power-law model parametreleri.....	81
Tablo 4.8 Farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerin ve proteinsiz kontrol tahininin duyuşal özellikleri .....	82
Tablo 4.9 Farklı sıcaklıklarda depolanan tahin örneklerinin 0. ve 1. dereceden reaksiyon kinetiklerinden faz ayrılması regresyon analizi .....	93
Tablo 4.10 Farklı sıcaklıklarda depolanan tahin örneklerinin 0. ve 1. dereceden reaksiyon kinetiklerinden serbest yağ asidi (SYA) regresyon analizi .....	94
Tablo 4.11 Farklı sıcaklıklarda depolanan tahin örneklerinin 0. ve 1. dereceden reaksiyon kinetiklerinden peroksit regresyon analizi.....	95

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

%	: Yüzde
$\mu\text{L}$	: Mikrolitre
$\mu\text{m}$	: Mikrometre
$\mu\text{mol}$	: Mikromol
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat derece
$D^*$	: Windhab kayma hızı
dk	: Dakika
$G'$	: Depolama modülü
g	: gram
$G''$	: Kayıp modülü
K	: Kıvam indeksi
kDa	: Kilodalton
kg	: Kilogram
L	: Litre
M	: Molar
meq $\text{O}_2/\text{kg}$	: miliEkivalan oksijen/kilogram
mg	: Miligram
mL	: Mililitre
mm	: Milimetre
MPa	: Megapascal
mV	: Milivolt
N	: Normalite
n	: Akış davranış indeksi
$\eta_{\infty}$	: Bingham, Casson, Windham plastik viskozitesi
Pa	: Pascal
$\text{Pa}\cdot\text{s}^n$	: Pascal saniye
pH	: Potansiyel Hidrojen
R	: Radikal
$R^2$	: Belirleme katsayısı
rad/s	: Radyan/saniye
rpm	: Dakikadaki devir sayısı
-SH	: Sülfidril
vd.	: Ve diğerleri
w/w	: Ağırlıkça Yüzde
$\alpha$	: Alfa
$\beta$	: Beta
$\gamma$	: Kayma hızı
$\Delta E$	: Renk farkı
$\mu\text{g}$	: Mikrogram
$\tau_0$	: Akma gerilimi
$\tau_1$	: Noktasal kayma gerilimi

## Kısaltmalar

<b>EA</b>	: Emülsifiye edici aktivite
<b>ES</b>	: Emülsifiye edici stabilite
<b>FTIR</b>	: Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopi
<b>HCl</b>	: Hidroklorik asit
<b>KOH</b>	: Potasyum Hidroksit
<b>NaOH</b>	: Sodyum Hidroksit
<b>SYA</b>	: Serbest yağ asitliği
<b>TB</b>	: YHB ile modifiye edilmiş susam protein katkılı tahin
<b>TGK</b>	: Türk Gıda Kodeksi
<b>TH</b>	: YBH ile modifiye edilmiş susam protein katkılı tahin
<b>TP</b>	: Modifiye edilmemiş susam protein katkılı tahin
<b>TS</b>	: Türk Standartları
<b>TU</b>	: US ile modifiye edilmiş susam protein katkılı tahin
<b>US</b>	: Ultrasonikasyon
<b>YBH</b>	: Yüksek Basıncılı Homojenizasyon
<b>YHB</b>	: Yüksek Hidrostatik Basınc

## 1. GİRİŞ

Tahin, susam (*Sesamum indicum* L.) tohumlarının kabukları ayrıldıktan ve kavrulduktan sonra değirmende öğütülmesiyle elde edilen bir ürün olup besleyici özelliği ve lezzetli olması nedeniyle sade veya diğer gıdalarla birlikte Asya, Ortadoğu ve Akdeniz ülkelerinde yaygın olarak tüketilmektedir (Özcan ve Akgül, 1994). Özellikle Ortadoğu, Suudi Arabistan ve ülkemizde oldukça popüler olan tahin helvasının ana bileşeni olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca sürülebilir tatlı ürünlerin hazırlanmasında diğer bileşenlerle (bal, pekmez, şurup gibi) birlikte karıştırılarak da kullanılmaktadır (Altay ve Ak, 2005). Yüksek yağ (%55-60) ve protein (%23-27) içermesi, B grubu vitaminlerince zengin olması ve yüksek değerli protein (başlıca esansiyel amino asitlerden olan metiyonin) bulundurması nedeniyle değerli bir gıda maddesidir. Ayrıca besinsel lif ve kalsiyum, demir, magnezyum, çinko, fosfor gibi mineral maddeler açısından zengin olup, susamdan üretildiğinden dolayı sesamin ve sesamolin gibi bileşikler de içermektedir (Batu ve Alyıldırım, 2009). Tahin, farklı gıda ürünlerinin üretiminde, yemeklerin bileşiminde ve kahvaltılıkların hazırlanmasında kullanılmaktadır ve tahinin en yaygın kullanım alanı tahin helvası üretimidir.

Tahin, yapısında bulunan antioksidan özelliğe sahip bileşiklerden (sesamin ve sesamolin gibi) dolayı oksidatif bozulmaya karşı koyabilmekte ve böylece raf ömrü uzamaktadır (Altay ve Ak, 2005; Ogutcu vd., 2018). Ancak tahin, yağ içinde protein içeren hidrofilik partiküllerin meydana getirdiği konsantre koloidal bir süspansiyon olmasından dolayı depolama sırasında yoğunluk farkı nedeniyle yağ fazının ayrılması ve yapıyı oluşturan partiküllerin zamanla çökmesi gibi fiziksel bozulmalara maruz kalmaktadır (Evlogimenou vd., 2017). Katı partiküllerin sedimentasyonu ve yağ fazının ayrılması doğal bir olay olmasına rağmen tüketiciler tarafından arzu edilmemekte, ürünün bozuk veya kalitesiz olarak algılanmasına neden olmaktadır.

Depolama süresince yağın ayrılması ve ambalajın alt kısmında oluşan sedimentin katılaşması nedeniyle ürünün tekrar süspansiyon hale getirilmesi oldukça zorlaşmaktadır (Çiftçi vd., 2008). Diğer taraftan depolama süresince yağ fazının ayrılmasına bağlı

olarak serbest ayrılmış yağ doğrudan havaya ve ışığa maruz kalmakta ve ransidite sorunları meydana gelmektedir (Mureşan vd., 2015). Shakerardekani vd. (2013) tahin benzeri bir ürün olan fındık ezmelininin yağ ayrılması ile oksidatif stabilite arasındaki ilişkiyi ortaya koyan bir çalışma yayınlamışlardır. Benzer problem tahinden üretilen tahin helvası gibi ürünlerde de meydana gelmekte olup tahin helvasında yağ ayrışma problemi üretimden hemen sonra başlamakta ve ürünün depolanması sırasında artarak devam etmektedir. Bu durum ambalaj malzemesinin yağ ile sıvanması, helva rengi üzerinde olumsuz değişiklikler ve helva dokusunda lifli ve yağlı bir yapıdan sert bir yapıya geçiş gibi sorunların ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Guneser ve Zorba, 2014). Gerek tahinde gerekse tahin bazlı ürünlerde faz ayrımının önlenmesi veya geciktirilmesinde çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalardan bazıları tahinin farklı ürünler ile karıştırılarak (tahin/pekmez karışımı, tahin/bal karışımı gibi) yeni sürülebilir ürün eldesi (Alpaslan ve Hayta, 2002; Karaman vd., 2017) şeklinde olup nihai ürün tahinden tamamen farklıdır. Farklı stabilizatör madde (lesitin gibi) ve besinsel lif ilavesi (Gunesen vd., 2014; Yetkin, 2019), doğal vaksların (ayçiçeği ve balmumu gibi) (Ogutcu vd., 2018) ve çeşitli ekstraktların (Evlogimenou vd., 2017) kullanımı gibi yöntemler de denenmiş olup yağ fazının ayrımı geciktirilmiş ancak kullanılan katkıları Türk Gıda Kodeksi Tahin Tebliği'ne uygun olmaması ve kül miktarının artmasından dolayı endüstriye aktarılamamıştır. Bir diğer yaklaşımda, Başdoğan (2016) tahinde ultrasonik homojenizasyon tekniğinin kullanım potansiyelini araştırmış ve %75 ile %100 genlik değerlerinde ultrasonik homojenizasyon işleminin faz ayrımını yaklaşık %23 oranında azalttığını tespit etmiştir. Bununla birlikte, gerçekleştirilen bu çalışmalar sonucunda belirli oranda faz ayrımının azaltılması sağlanmış olsa bile, endüstriyel anlamda sorunun çözülmesine yönelik yenilikçi araştırmalara ihtiyaç olduğu açıktır.

Günümüzde tarımsal kaynaklı gıdaların işlenmesiyle tonlarca gıda atığı/yan ürünü açığa çıkmakta ve bunlar çeşitli prosesler vasıtasıyla ya hayvansal yemlere dönüştürülmekte ya da imha edilmektedir. Yağlı tohumlardan soğuk pres yöntemiyle yağın alınması geriye protein içeriği yönünden oldukça zengin, önemli miktarda posanın kalmasına neden olmaktadır. Yağ endüstrisinde yağlık tohumlardan soğuk pres tekniği ile yağın alınmasından sonra geriye kalan posalar %35-60 arasında protein

içeriğinden dolayı, bu posalar atık ve/veya yan ürün olarak değerlendirilme potansiyeline sahip olmaktadır.

Susam (*Sesamum indicum* L.), dünyanın en önemli yağlı tohum bitkilerinden olup potansiyel protein kaynağıdır. Susam yağı mekanik presleme yöntemi ile veya organik çözücüler ile ekstrakte edilmektedir. Susam yağının çıkarılmasından sonra oluşan yan ürün susam posasıdır (Onsaard, 2012). Yaklaşık %50 oranında protein içeren yağsız susam posası hem fonksiyonel gıda bileşenleri hem de besin takviyeleri olarak kullanım için değerli bir protein kaynağı niteliği taşımaktadır. Bu nedenle susam proteinlerinin fonksiyonel bileşen olarak kullanılmasına yönelik çalışma sayısında giderek artış gözlenmektedir (Achouri vd., 2012).

Proteinlerin fonksiyonel özellikleri; gıdaların üretimi, depolaması, hazırlığı ve tüketimi sırasında proteinlerin davranışlarını etkileyen fiziksel ve kimyasal özellikler olarak ifade edilmektedir. Bu fonksiyonel özellikleri etkileyen faktörler olarak aminoasit kompozisyonları, protein yapısı ve protein şekli, ekstraksiyon ve kurutma gibi işlemlerde kullanılan yöntemler ve parametreler ön plana çıkmaktadır (Yavuz ve Özçelik, 2016). Bitkisel kaynaklı proteinlerin fonksiyonel özelliklerinin hayvansal kaynaklı proteinlere kıyasla zayıf olmasından dolayı fonksiyonel özelliklerin geliştirilmesine yönelik modifikasyon işlemleri uygulanmaktadır. Proteinlerin işlevselliğini artırmaya yönelik fiziksel yöntemler; kimyasal veya enzimatik işlemlere dayanmayan basit yaklaşımlardır. Proteinler için günümüze kadar kullanılmış olan fiziksel modifikasyon yöntemleri; işlem sürecinde ısı uygulaması içerenler ve ısı olmayanlar olarak iki grup altında incelenmektedir. Isıl olmayan fiziksel modifikasyon yöntemleri gıda sanayisi için önemli potansiyele sahip teknikler içermekte olup özellikle de ultrases, yüksek basınçlı homojenizasyon ve yüksek hidrostatik basınç gibi ısı olmayan yeni işleme teknikleri ön plana çıkmaktadır.

Bu tez çalışmasında soğuk pres susam posasından ekstrakte edilen susam protein izolatının yeni işleme tekniklerinden olan ultrases, yüksek basınçlı homojenizasyon ve yüksek hidrostatik basınç ile modifikasyonu gerçekleştirilmiş ve modifiye protein tahine ilave edilerek tahinin faz ayrımının önlenmesi veya geciktirilmesi ve buna bağlı olarak depolama stabilitesinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

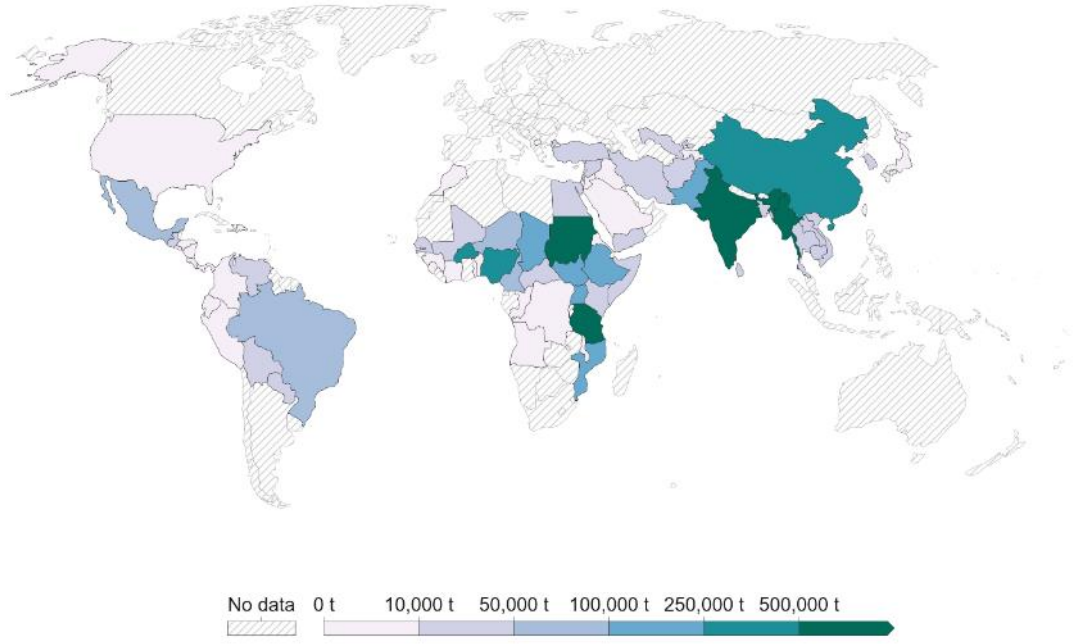
## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1 Susam

İnsanoğlunun bildiği, dünyada yaklaşık olarak 4000 yıldır tarımı yapılan en eski ve en önemli yağlı tohum bitkilerinden birisi susamdır. Tek yıllık yağlı tohum bitkisi olan susam (*Sesamum indicum* L.), sesamum, beniseed, sim-sim, gingelly veya till olarak da bilinmektedir. Susam terimi İngilizce sesame, Latince sesam, Farsça konjut, kunjed, Uygurca kunchi-kunjut ve Ermenice konjut-konjit olarak ifade edilmektedir (Gharby vd., 2017). Türkçedeki kullanımı susam olarak bilinse de Adana, Osmaniye gibi illerde küncü olarak ifade edilmektedir (Akçaözoglu ve Aliğaoğlu, 2019).

Susamın ilk olarak Pakistan'da antik yerleşim yerlerinde keşfedildiği ve küresel olarak başlıca susam üreticilerinin Hindistan, Sudan, Myanmar, Çin ve Tanzanya olduğu bilinmektedir. Son yıllarda Afrika ülkelerinde susam üretimi artmış ve Sudan susam tohumlarının lider üreticisi olan Hindistan'ın yerini almıştır. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'ne göre 2021 yılında küresel susam üretiminin 6354 milyon ton olduğu ve bunun 1.119 milyon tonu Sudan'da, 817.000 tonu ise Hindistan'da üretilmektedir (FAO, 2021). Türkiye'de 2020 yılında 18.648 ton susam üretimi gerçekleşmiştir. Susam üretim miktarı ülkemizde ihtiyacı karşılayacak düzeyde olmamasına rağmen susamın doğrudan hammadde olarak kullanıldığı tahin ve tahin helvası üretimi ülkemizde oldukça yaygındır. Bu nedenle Türkiye 2020 yılında 223.162 ton ile en fazla susam ithalatı yapan ikinci ülke konumundadır (FAO, 2021).

Susam Pedaliaceae familyasına, Sesamun cinsine aittir ve *indicum*, *alatum* ve *radiatum* olmak üzere üç türe sahiptir. Ancak sesamum cinsine giren türler arasında sadece kültürü yapılan tür *Sesamum indicum* L. (2n=26)'dir (Umar vd., 2014). Susam tropikal bölgelerde yetiştirildiği gibi 40°K ve 40°S enlemleri arasındaki ılıman bölgelerde de tarımı yapılmaktadır. Özellikle Asya ve Afrika'da yüzyıllardır susam üretimi gerçekleştirilmektedir. 50 ila 100 cm yüksekliğe kadar büyüyen, karşılıklı yaprakları 4 ila 14 cm uzunluğunda ve tüm kenar boşluğu olan tek yıllık bitkidir (Onsaard, 2012).



Şekil 2.1 2021 yılında Dünyada susam üretim alanları ve miktarları (FAO, 2021)

Susam, ilkçağlardan günümüze kadar gıda olarak kullanılmakta olup bunun yanında yağ ve şifa kaynağı amacıyla da değerlendirilmektedir (Batu ve Batu, 2020). Yüksek stabilitesi, kuraklığa karşı dayanıklı olması ve ekstraksiyon kolaylığı nedeniyle antik yerleşim yerlerinde önemli bir yağlı tohum ürünü olarak bilinmektedir (Abo Khashaba vd., 2014). Susam tohumları önemli miktarda protein, karbonhidrat, yağ, lif ve mineral bileşenlerine sahiptir. Tablo 2.1’de bütün halde susam tohumu ve yağı uzaklaştırılmış susam ununun besinsel bileşimi gösterilmektedir. Yağı alınmış susam ununun bütün susam tohumlarına göre daha yüksek oranda nem (%7,34), ham protein (%40,9), ham lif (%7,82), kül (%7,49), nitrojen içermeyen öz (NFE) (%32,48) içerdiği tespit edilmiştir. Ham yağ (%41,2) oranının ise bütün susam tohumunda daha fazla olduğu gözlemlenmiştir (Abbas vd., 2022).

Tablo 2.1 Susam tohumlarının besin bileşimi (Abbas vd., 2022)

Parametre	Beyaz Susam Tohumu	Yağı Uzaklaştırılmış Susam Unu
Nem (%)	4,53	7,34
Ham protein (%)	22,41	40,90
Ham yağ (%)	41,20	3,97
Ham lif (%)	3,42	7,82
Kül (%)	4,27	7,49
Nitrojen içermeyen öz (%)	24,04	32,48
Sodyum (mg/100 g)	549,91	964,89
Kalsiyum (mg/100 g)	1146,25	2011,32
Demir (mg/100 g)	9,45	16,59
Çinko (mg/100 g)	5,62	9,86
<b>Susam Tohumu Yağı</b>		
Oleik asit (%)	33,9-47	
Linoleik asit (%)	35,6-47,6	
Stearik asit (%)	5,41-6,42	
Palmitoleik asit (%)	0,09-0,14	
Linolenik asit (%)	0,30-0,40	

Susam tohumları yaklaşık %25-35 oranlarında protein ve ağırlıklı olarak doymamış yağlar olmak üzere %55 yağ asitlerini içermektedir (Labban ve Sumainah, 2021). Kalsiyum, demir, çinko açısından zengindir. Ayrıca sesamin, sesamolin ve lignanların varlığı susamın fonksiyonel bir gıda olmasını sağlamaktadır (Nagar ve Agrawal, 2022). Susam tohumlarının soya fasulyesi, yerfıstığı, kolza tohumu ve zeytin gibi ana yağ bitkilerinin tohumları ile kıyaslaması yapıldığında en yüksek yağ içeriğine sahip olmakla kalmayıp vitamin, sesamin, sesamolin, spesifik antioksidanlar ve protein açısından da zengin olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle susam tohumu ‘yağlı tohumların kraliçesi’ olarak adlandırılmaktadır. Yağlı tohum ve sağlıklı gıdalar arasında en iyi seçeneklerden biri olduğu görülmektedir (Cui vd., 2021). Son yıllarda yağlı tohumlar arasında besleyici özelliği ve tıpta fayda sağlamasından dolayı susama olan talep önemli düzeyde artış göstermektedir (Nagar vd., 2022).

Susam yağı güçlü bir antimikrobiyal ve antioksidan kaynağıdır. Ayrıca susam yağı %35,9-47 oranında oleik, %35,6-47,6 oranında linoleik, %8,7-13,8 oranında palmitik,

%2,1-6,4 oranında stearik ve %0,1-0,7 oranında araşidonik asit içermektedir (Labban vd., 2021). Susam yağı %43 çoklu doymamış yağ asitleri ve %40 tekli doymamış yağ asitlerine sahip olup 40 mg/100 g yağa sahip iyi bir E vitamini kaynağıdır (Sohouli vd., 2022).

Dünya genelinde susamın yaklaşık %75'i un ve yağ olarak işlenmektedir. Geri kalan kısmı gıda ve şekerleme alanında kullanılmaktadır. Susam; tahin ve helva (tatlı) yapımında, ekmek, susamlı barlar, kurabiyeler, galeta çubukları, krakerler, tahıl karışımları, kekler ve çörekler gibi çok sayıda ticari fırıncılık ürününe tekstür, lezzet ve tat katmak amacıyla ve süsleme malzemesi olarak kullanılmaktadır (Abbas vd., 2022).

## 2.2 Tahin

Türk Gıda Kodeksi Tahin Tebliği'ne göre; "Tahin üretimine uygun susam (*Sesamum indicum* L.) tohumlarının tekniğine uygun olarak kabukları ayrıldıktan ve fırında kurutulup kavrulduktan sonra değirmende ezilmesi ile elde edilen ürünü" olarak tanımlanmaktadır (TGK, 2015). Tahin; kavrulmuş susam ezmesi, tehina, tehineh, tehinah, tahinah veya tahina olarak da adlandırılmaktadır. Dünyada birçok ülkede unlu mamullerde, şekerlemelerde ve bazı yöresel yemeklerde kullanımı oldukça yaygındır. Çok besleyici, yarı katı bir gıda ürünü olarak bilinmektedir (Altay ve Ak, 2005). Tahin; salata, meze, unlu mamullerdeki kullanımının yanı sıra ülkemizde bal ve pekmez ile karıştırılarak tüketilen bir gıdadır (Batu ve Alyıldırım, 2009).

Tahin Tebliği'ne göre, tahinde susam yağı kütlece en az %50, protein en az %20, kül en çok %3,2; nem en çok %1,5; asitlik (oleik asit cinsinden) en çok %2,4 olması gerekmekte ve acılığın (Kreis) negatif olması ve nişasta hariç yabancı madde bulunmaması gerekmektedir (TGK, 2015).

Tahinin kendine has rengi, tadı ve kokusu olmalıdır. Tahin ayrıca kalsiyum, demir ve magnezyum gibi önemli mineralleri de içermektedir. Tahin ile ilgili gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda yaklaşık kimyasal kompozisyonu ortaya konmuş olup yüksek oranda yağ (%58,9) ve protein (%24,7), düşük oranda ham selüloz (%2,3), nem (<%10) ve kül (%3)'den oluşturmaktadır (Batu vd., 2020). Bununla birlikte içermiş

olduğu yağın yüksek oranda (%82) doymamış olduğu da belirlenmiştir. Doymamış yağ asitlerinin büyük çoğunluğunu oleik ve linoleik asit oluştururken doymuş yağ asitlerini palmitik ve stearik asit meydana getirmektedir. Tahindeki toplam yağ asitlerinin %98'ini oleik, linoleik, palmitik ve stearik asit oluşturmaktadır (Kömez, 2002). Ulusal Gıda Kompozisyon Veri Tabanı verilerine göre Tablo 2.2'de tahinin ortalama kompozisyonu verilmiştir (Anonim, 2022).

Tablo 2.2 Tahinin ortalama bileşimi (Anonim, 2022)

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)*	20,62	Magnezyum (mg)	318
Yağ (g)	60,40	Potasyum (mg)	313
Azot (g)	3,89	Sodyum (mg)	238
Karbonhidrat (g)	2,96	Çinko (mg)	9,03
Lif (g)	595	Selenyum (µg)	18,8
Tuz (mg)	595	Tiamin (mg)	0,320
Yağ asitleri, toplam doymuş (g)	12,819	Riboflavin (mg)	0,132
Yağ asitleri, toplam tekli doymamış (g)	21,907	E vitamini (IU)	0,57
Yağ asitleri, toplam çoklu doymamış (g)	22,872		

\*N=5,30; Bileşen değerleri gıdanın yenilebilir 100 g'ı içindir.

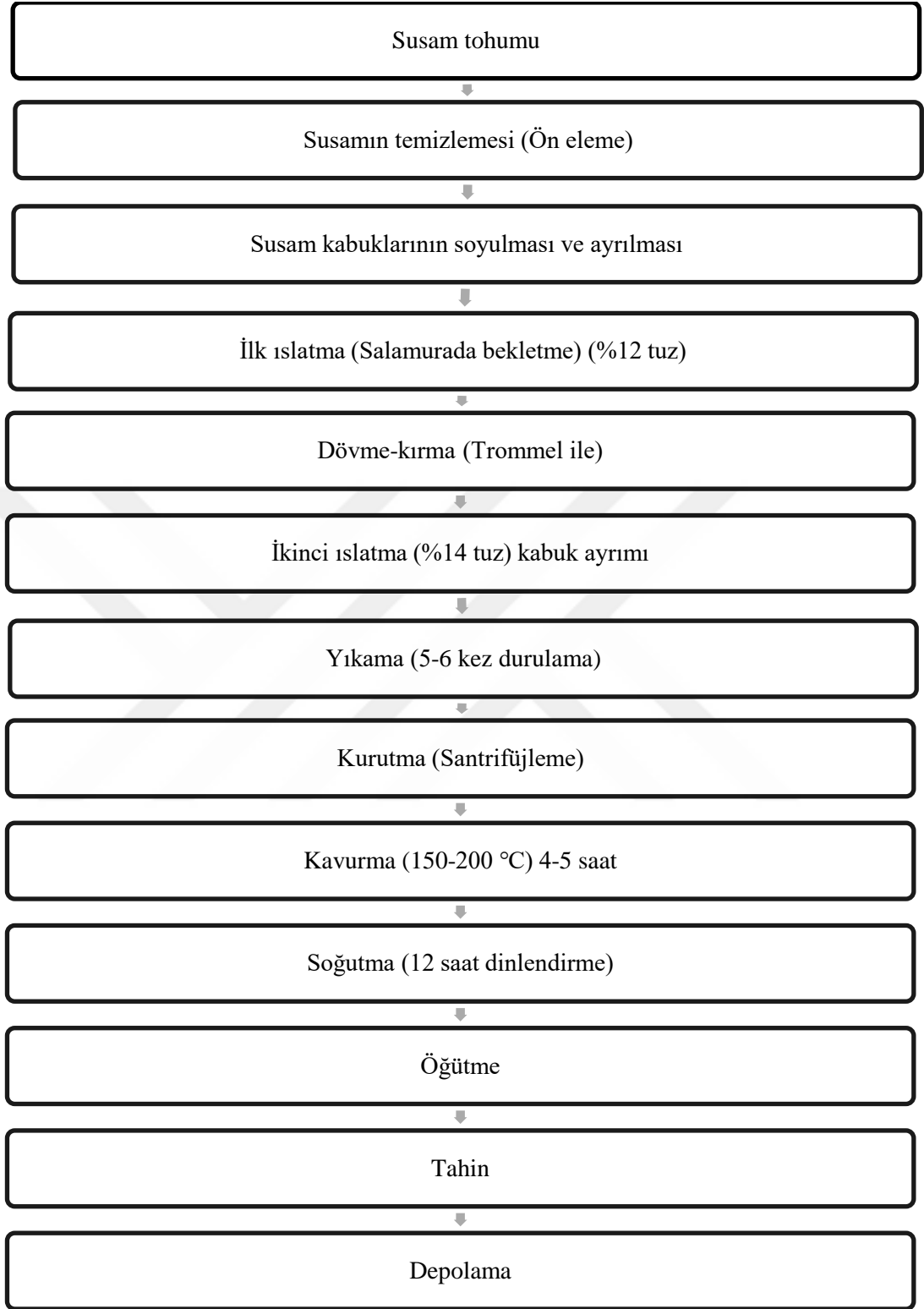
### 2.3 Tahin Üretimi

Tahin, susam tohumlarının temizlenmesi, ıslatılması, kabuklarının soyulması, yıkanması, kurutulması, kavrulması ve öğütülmesi sonucunda elde edilmektedir (Şekil 2.2) (Batu vd., 2020). Susam tohumunun %15-18 kısmı kabuk ve kepek olarak ayrılmakta olup kalan kısmı öğütülüp tahin üretiminde kullanılmaktadır. Böylece 100 kg susamdan 82-85 kg arasında tahin elde edilmektedir (Görgüç ve Yılmaz, 2019).

Susam tohumlarının hasat edilme aşamasında ne kadar dikkat edilirse edilsin gerek çevresel kaynaklı gerekse ait olduğu bitki kaynaklı yabancı maddelerin karışması söz konusudur. Bundan dolayı tohumla birlikte bulunan her türlü organik ve inorganik

yabancı maddeler, irilik, şekil, yoğunluk farklarından yararlanılarak amaca uygun elekler, triyörler ve pnömatik ayırıcılar kullanılarak ayrılmaktadır.

Kaliteli ve sağlıklı bir tahin üretebilmek için susam kabuğunun soyulması ve uzaklaştırılması gerekmektedir. Susam kabukları oksalik asit, kalsiyum ve selüloz açısından zengindir. Tohumlardaki oksalik asit miktarı %2,5-3 iken kabukta bulunan miktarı %15 civarındadır. Serbest halde bulunan oksalik asit, ortamda kalsiyum ile tuz oluşturarak insan sağlığını tehdit etmektedir. Bundan dolayı insan gıdası olarak tüketilmek üzere hazırlanan tüm susam ürünlerinin üretiminde öncelikle çekirdek kabuklarının uzaklaştırılması sağlıklı beslenme açısından önemlidir. Soyulmuş susam tohumlarındaki oksalik asit miktarı %0,25'e kadar düşürülmektedir. Kabuk soymada ıslak ve kuru soyma olmak üzere 2 farklı işlem söz konusudur. Islak soyma işleminde susam tanelerinin çeşidine göre 6-12 saat arasında 5 kat su içerisinde bekletilerek susam ve kabuklarının yumuşaması sağlanmakta, ardından kabuk soyma makinesine alınıp kabuk soyma işlemi gerçekleştirilmektedir. Kuru soyma işleminde ise püskürtme yöntemi ile ıslatılan susam soyma makinesi içerisine alınmakta ve kabukların soyma makinesinde çatlatması ile kabuk ve susamın ayrışma işleminin kolaylaşması sağlanmaktadır. Salamura havuzlarında ayrıştırma işlemi gerçekleştirilerek kabuk ve susam birbirinden ayrılmaktadır.



Şekil 2.2 Tahin üretim akış şeması (Batu ve Batu, 2020)

Kabuk ayırma işleminin ilk aşaması, birinci ıslatmadır. Ülkemizde ıslatma amacıyla uygulanan geleneksel yöntemlere göre, birinci ıslatmada susam tohumu ağırlığının 5 katı suda (%12 tuzlu su) en az 8-10 saat bekletilmektedir. Buradaki amaç susam

kabuklarının kolayca ayrılabilmesi için yumuşatılmasıdır. İkinci ıslatma işleminde ise susamların kabukları ağırlık farkına bağlı olarak ayrılmaktadır. Trommel cihazındaki susam ve kabuk karışımı tuzlu su (%14'lük) havuzuna alınmakta ve tuzlu su ile yoğunluk farkından yararlanılarak susamın kabuklarını ayırmaktır (Batu vd., 2009).

Durulama etkinliği son üründe tuz miktarına etki etmekte olup bekletme havuzundan alınan susam taneleri üzerindeki tuz çözeltisi ardı ardına gerçekleştirilen iki yıkama işlemi ile uzaklaştırılmaktadır. Bekletme işleminde susam taneleri yüksek oranlarda su çektiklerinden dolayı susam tanelerinin doğrudan öğütme veya ezme işleminden geçirildiklerinde içerdikleri yüksek orandaki su nedeniyle ezilmeleri ve homojen bir emülsiyon oluşturmaları zorlaşmaktadır. Bu nedenle kavurma öncesi yatay ve dikey kurutucularda belli bir nem miktarına (yaklaşık %3-5 oranında su içerecek şekilde) kadar kurutma işlemi yapılmaktadır (Batu vd., 2020).

Susam tohumlarının kavrulması, tahin üretimi için temel bir işlem olup susam tohumları aromayı, istenen rengi ve nihai olarak ürünün genel lezzetini artıran dokudaki değişiklikleri teşvik etmek için kavrulmaktadır. Kavurma işlemi fırınlarda doğrudan ısıtma ile yapılabildiği gibi çift cidarlı kazanlarda dolaylı ısıtma ile de gerçekleştirilebilmektedir (Özan ve Akgül, 1994). Tahin üretiminde istenilen renk ve dokuyu sağlamak için kavurma işleminde optimum sıcaklık-süre aralığı 155-170°C'de 40-60 dk olarak verilmiştir (Torlak vd., 2013). Ürünün tadı ve aroması, çoğunlukla kavurma işlemi sırasında oluşmaktadır. Kavurma işlemi sırasında tohum yapısındaki azotlu maddelerin çoğu denature olmakta ve buna bağlı olarak susam tohumları daha iyi ezilecek yapıya sahip olmaktadır (Batu vd., 2020).

Öğütme işleminde çoğunlukla kaba ve ince öğütme olmak üzere iki kademe gerçekleştirilmekte olup değirmenlerden yararlanılmaktadır. Öğütmek amaçlı hangi değirmen kullanılırsa kullanılsın elde edilecek ürün kalitesi açısından en önemli husus öğütme sırasında ürünün sıcaklığının 80°C'yi geçmemesidir. Öğütme sıcaklığının yükselmesini önlemek amacıyla özellikle modern öğütme değirmenlerinin kullanıldığı işletmelerde değirmenler soğutma sistemleri ile donatılmıştır (Batu vd., 2020). Öğütme sonrası susamın yağ içeriğinin yüksek olmasından dolayı değirmenden çıkan ürün akışkan macun halinde olup 'tahin' olarak adlandırılmaktadır (Özcan vd., 1994).

Tahin gibi ürünlerde depolama stabilitesi, üreticiler ve tüketiciler için temel endişe kaynağıdır. Depolama sırasında tahinin yapısını oluşturan partiküller çökelmeye eğilimlidir ve bu da faz ayırımına ve buna bağlı olarak tortu oluşuma neden olmaktadır. Dolayısıyla tüketiciler tarafından ürünün kabul edilebilirliği olumsuz etkilemektedir. Bununla birlikte faz ayırımına bağlı olarak lipit oksidasyonu da en yaygın sorunların başında gelmektedir (Hou vd., 2020).

## **2.4 Tahindeki Problemler**

Tahin, temel olarak susam yağında asılı kalan hidrofilik katılardan oluşan bir tür kolloidal süspansiyondur (Çiftçi vd., 2008). Tahinde meydana gelen iki temel kalite problemi vardır. Bu iki kalite problemi de yağın üründen ayrılarak kabın üstünde toplanma eğiliminden kaynaklanmaktadır. Depolama sırasında tahinin yapısında bulunan yağ oranının yüksek ve yoğunluğunun düşük olmasından dolayı yağ diğer bileşenlerden ayrılmaktadır. Depolama sırasında meydana gelen yağ ayrılması doğal bir fenomen olmasına rağmen tüketiciler tarafından arzu edilmemektedir ve ürünün bozuk veya kalitesiz olarak algılanmasına yol açmaktadır. Depolama süreci boyunca yağ tamamen yüzeye hareket ederek ayrılmakta ve ambalajın alt kısmında kalan faz katılarak, kullanımı zorlaşmaktadır. Uzun süreli depolama sonucunda yoğunluk farkı nedeniyle gerçekleşen yağ fazının ayrılması ve partikül sedimentasyonu tahinin en belirgin karakteristik fiziki problemi olup (Evlogimenou vd., 2017) ikinci temel kalite problemi ise serbest ayrılmış yağın hava ve ışığa maruz kalmasına bağlı olarak meydana gelen ransiditedir (Mureşan vd., 2015).

### **2.4.1 Faz Ayrımı**

Tahin faz ayrımı açısından stabil bir sistem olmayıp hazırlandıktan sonra depolama sırasında susam yağının tahinin katı kısmını oluşturan proteinlerden ve karbonhidratlardan ayrıldığı ve pratik olarak iki katman oluşturduğu bir faz ayırımına maruz kalmakta, bu da ürünü homojen olmayan, görünümü ve dokusu açısından ticari olarak kabul edilemez bir hale getirmektedir (Bousi vd., 2022; Çiftçi vd., 2008). Faz ayırımında özellikle partikül boyutu ve depolama sıcaklığı önemli etkenler olup katı partiküllerin boyutunun büyük olması ve depolama sıcaklığının yüksek olmasından

dolayı katı çökelme hızı ve buna bağlı faz ayrımı artmaktadır (Evlogimenou vd., 2017).

Tahinde meydana gelebilecek faz ayrımı kritik bir problem teşkil etmektedir. Değirmenlerden çıkan tahinde irili ufaklı partiküllerin birleşmesi sonucu tam anlamıyla bir homojenizasyon söz konusu değildir. Üründe zamanla yağ üstte toplanırken altta çok kalın bir kütle oluşmakta ve böylelikle faz ayrımı gerçekleşmektedir (Batu vd., 2020).

Tahinin yapısında bulunan proteinler ve diğer katı maddeler yağ içerisinde tutunmuşlardır. Kolloidal bir formda olan proteinler zaman içerisinde yerçekimi kuvvetinin etkisiyle çökelmekte, yağ fazı ise yüzeye çıkmaktadır. Tahinde meydana gelen bu çökelme depolama sırasında ve raflarda belirgin hale gelince ürün, müşteri beğenisini kaybetmektedir. Tahin, kimyasal bozunma reaksiyonları açısından rafta stabil yapıdadır fakat tahinin depolanması sırasında kolloidal kararsızlık ana problemdir. Tahinin yapısındaki protein-yağ kompleksinin partikül boyutlarının belirlenmesi ve kontrolünün sağlanması, yağ ayrımının engellenebileceği ideal boyutu belirlemek açısından ve ürünün raf ömrünü artıracığından dolayı gereklidir (Çiftçi vd., 2008).

Tahinde faz ayrımı tüketiciler tarafından olumsuz karşılandığından uzun süreli depolamada faz ayrımının ortaya çıkmasını önlemek veya en aza indirmek için çeşitli girişimlerde bulunulmuştur. Bu girişimler temelde katkı maddesi ilavesi ve yapının modifiye edilmesi üzerine kurgulanmıştır. Öğütme ile birlikte partikül boyutunun kontrolü, bal gibi viskoz bir bileşenin ilavesi ile kıvamın artırılması, lesitin veya mono ve digliseritler gibi emülsiyonlaştırıcı maddelerin ilavesi ile emülsiyon stabilitesinin iyileştirilmesi faz ayrımının önlenmesine yönelik uygulamalardır.

Yüzer ve Gençcelep (2024) tarafından gerçekleştirilen çalışmada oda sıcaklığında tahinin depolanması sırasında meydana gelen faz ayrımını önleyebilmek veya en aza indirebilmek amacıyla elektroğirme tekniği ile üretilen susam proteinleri içeren nanoliflerin ve susam protein izolatlarının tahine ilavesi gerçekleştirilmiş ve depolama boyunca tahinde meydana gelen faz ayrımı ve diğer kalite faktörlerinde değişimler

araştırılmıştır. Yağ ayrılmasını önlemek amacıyla susam protein izolatu ve nanolifler tahinlere belirli oranlarda (%1 ve %2) ilave edilmiş ve kontrol (%0) gruplarıyla kıyaslamaları yapılmıştır. Elde edilen bulgular doğrultusunda ilave edilen susam protein izolatu ve nanoliflerin kontrol grubuna kıyasla yağ ayrılmasını %63'e kadar azalttığı tespit edilmiştir. Yağ fazının yapıdan ayrılmasının kontrol gruplarına göre protein izolatu ilavesiyle %24,73'e, nanolif ilavesiyle ise %63,02'ye kadar önlenildiği belirlenmiştir. Sadece 30. gün tahin örneklerinden nanolif içeren örnek gruplarında kontrol grubuna göre yüzeyde daha fazla yağ birikimi gözlenmiştir. Depolamanın 60. gününde ise tüm örneklerde ayrılan yağ miktarında artış meydana geldiği ancak tahine hem susam protein izolatu hem de nanolif ilavesinin ayrılan yağ miktarında önemli düzeyde azaltıcı etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Yetkin (2019) tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise tahine ilave edilen bazı liflerin süspansiyonun viskozitesini yükselterek yağın yapıdan ayrılmasına engel oluşturması, lesitinin ise emülgatör özellik göstererek etki etmesi ve buna bağlı olarak depolama boyunca tahinde meydana gelen bazı değişimlerin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada depolama (90 gün) süresince katkısız tahin ile farklı oranlarda şeker pancarı lifi, susam lifi ve lesitin ilave edilmiş tahinler kıyaslandığında katkı kullanılan tahin örneklerinde katkısız tahin örneklerine göre ayrılan yağ miktarı %30 oranına kadar azaldığı tespit edilmiştir.

Ogutcu vd. (2018) yaptıkları çalışmada tahinde faz ayrımını önlemeyi ve sürülebilir tahin bazlı ürünleri elde etmeyi hedeflemişlerdir. Bu amaçla tahine belirli oranlarda ayçiçeği mumu (%1 ve 3) ve balmumu (%1, 3 ve 5) ilave etmişler ve 21 gün boyunca 25 °C ve 35 °C sıcaklıklarda örnekleri depolamışlardır. Ayçiçeği mumu ilave edilen tahin örneklerinde yağ ayrımının diğer örneklere kıyasla düşük olduğu (%14,15-17,53), kontrol örneği ile balmumu ilave edilen tahin örneklerinin yağ ayrımının benzer olduğu tespit edilmiştir.

Al-Mahasneh vd. (2017) tarafından yapılan diğer bir çalışmada tahine depolama sırasında meydana gelen yağ ayrılmasını azaltmak için farklı oranlarda palm yağı ve monogliseridler ilave edilmiştir. Tahinde yağın ayrılmasının büyük bir kısmının, depolamanın ilk 40 gününde meydana geldiği gözlemlenmiştir. Tahine ilave edilen

monogliseridlerin viskoziteyi artırdığı, palm yağı ilavesinin ise viskoziteyi olumsuz etkilediği gözlenmiştir. Depolama sonunda %2 oranında palm yağı ilave edilen örnekte yağ ayrımının kontrole kıyasla %12,5 daha az olduğu, %8 oranında monogliserit ilavesi ile birlikte yağ ayrılmasında %50 oranında bir azalma olduğu gözlenmiştir.

Evlogimenou vd. (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmada tahinin stabilitesinin yağ ayrılması ve partikül sedimantasyonuna karşı iyileştirilmesi amacıyla yağ bakımından zengin olan fındık, mısır ve susamın sulu ekstraksiyon atıklarını (toz halde) katkı maddesi olarak kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre uzun süre depolanan tahin örneklerinde kullanılan katkıların yağ ayrılmasına karşı ürünün stabilitesini belli bir seviyeye kadar arttırdığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte mısır özünden elde edilen tozun en yüksek stabilize etme kabiliyetinin olduğu belirtilmiştir.

Başdoğan (2016) tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada tahinin depolama stabilitesi üzerine ultrases işleminin etkisi araştırılmış, depolama sonunda %50 genlik gücünde sonikasyon uygulanan örneklerin kontrole önemli bir farklılık sergilemediği, ancak %75 ve %100 genlik gücünde ultrases uygulanan tahinlerdeki yağ ayrılmasının kontrol numunesine göre %23 daha az olduğu belirlenmiştir.

#### **2.4.2 Oksidasyon**

Tahin, yağ fazında kolloidal bir dağılım olarak karakterize edilmekte olup yağ serbest ve emülsifiye edilmemiş bir sıvı olarak yapıda bulunmaktadır. Tahin yapıdaki mevcut olan protein tarafından stabilize edilen konsantre yağda su emülsiyonu olarak düşünülebilir. Emülsiyon damlacıkları zayıf bir şekilde bağlanmış kümeler veya hatta zayıf bir emülsiyon jeli oluşturacak şekilde bir araya geldiği görülmekte ve nihayetinde yağ fazı ayrılma eğilimi göstermektedir (Al-Mahasneh vd., 2017). Her ne kadar susam yağı içermiş olduğu antioksidan bileşenlerden (sesamin, sesamolin ve  $\gamma$ - tokoferol) dolayı dikkate değer bir stabiliteye ve oksidatif bozulmaya karşı yüksek dirence sahip olsa da (Abou-Gharbia vd., 1996) tahindeki emülsiyon kararsızlığı (yağ ayrılması) depolama sırasında tahinin genel kalitesi açısından önemli bir sorun oluşturmaktadır. Özellikle serbest ayrılmış yağın hava ve ışığa maruz kalması

sonucunda meydana gelen oksidatif bozulma önemli bir problemdir. Hou vd. (2020) tahinin depolama süresinin artmasına ve depolama sıcaklığının yükselmesine bağlı olarak koloidal stabilitesinin azaldığını ve serbest yağ asidi ile peroksit değerlerinin önemli düzeyde arttığını bildirmişlerdir. Peroksit için belirlenen limit değer (19,7 meq O<sub>2</sub>/kg) dikkate alındığında tahinin 40 °C’de 30 gün, oda sıcaklığında 60 gün ve buzdolabı koşullarında 120 gün’den fazla depolanamayacağını belirtmişlerdir.

Bir diğer çalışmada tahine benzer yapı sergileyen ayçiçeği ezmelerinde de peroksit değerleri depolama sıcaklığına bakılmaksızın depolama süresiyle birlikte önemli ölçüde artma eğilimi sergilemiştir. Aynı süre boyunca farklı sıcaklıklarda depolanan her örneğin peroksit değeri arasında önemli farklılıklar tespit edildiği ve bunun da oksidasyon derecesinin depolama sıcaklığıyla artışını doğruladığı bildirilmiştir (Mureşan vd., 2015). Sıcaklığın peroksit oluşumu üzerindeki belirgin etkisi List vd. (2005) tarafından açıklanmış olup peroksitlerin 21,1°C’de çok yavaş geliştiğini, ancak 37,8°C ve 48,9°C’de belirgin şekilde arttığını, muhtemelen oksijenin daha yüksek sıcaklıklarda reaksiyon arayüzüne daha hızlı difüze olmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

## 2.5 Proteinler ve Fonksiyonel Özellikleri

Proteinler, beslenme ve işlevsel özellikleri açısından önem arz eden 20 farklı aminoasitin ( $\alpha$ -aminoasit) birleşmesi ile oluşan makromoleküllerdir (Damodaran ve Parkin, 2017). Proteinler  $\alpha$ -aminoasitlerin birbirlerine peptit bağlarıyla bağlanması sonucu oluşan polimerlerdir. Bir aminoasit, karbon atomuna bağlı olarak karboksil (-COOH) grubu, amino (-NH<sub>2</sub>) grubu, hidrojen (-H) atomu ve R grubundan oluşmaktadır. Aminoasitler farklı R grupları ile birbirlerinden ayrılmaktadır. En basit yapıya sahip olan glisin amino asitinin R grubu yalnızca -H atomundan oluşmaktadır. Yan zincir olarak bilinen radikal grup, diğer durumlarda alifatik veya heterosiklik bir yapıdadır. R grubunun kimyasal yapısı amino asitlerin net yük, kimyasal reaktivlik, hidrojen bağlama gücü ve çözünürlük gibi bazı fizikokimyasal özelliklerini etkilemektedir (Saldamlı, 2017). Proteinlerin fizikokimyasal özellikleri buldukları gıdalara ‘fonksiyonel özellikler’ olarak da adlandırılan yapısal özellikler sağlamaktadır. Çözünürlük, şişme, su tutma kapasitesi, köpürme özellikleri, jelleşme

kapasitesi, emülsifiye etme ve yağ bağlama özellikleri gibi fonksiyonel özellikler gıdanın tüketici tarafından daha arzu edilebilir bir yapıya sahip olmasını sağlarken gıdanın depolama stabilitesinin de iyileştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Proteinlerin fonksiyonel özellikleri gıda sistemlerindeki davranışlarını ve son ürünün kalite niteliklerini, yapısını, dokusunu, ağızda bıraktığı hissi ve aromasını etkilemektedir (Beran vd., 2018).

Gıda uygulamalarında kullanılan proteinler için fonksiyonel özellikler hem iç faktörlere (moleküler yapı, bileşim) hem de dış faktörlere (sıcaklık, pH, çevresel kimyasallar) bağlıdır. Bu faktörlerin değişmesiyle proteinlerin fonksiyonel özellikleri de değişiklik göstermektedir. Özellikle gıdaların işlenmesi sırasında dış etmenlere maruz kaldığında proteinlerin fonksiyonel özelliklerinin değiştiği tespit edilmiştir (Liu vd., 2012).

Çözünürlük, proteinlerin bir sıvı içerisinde homojen dağılmasında önem arz etmektedir. Çözünürlüğün yüksek olmasında proteinlerin emülsiyon, jel ve köpük özellikleri etkilenmektedir (Özcan vd., 2011). Protein çözünürlüğü, özellikle protein yüzeyinde amino asit bileşimine bağlı olan hidrofiliklik/hidrofobiklik dengesinden etkilenmektedir. Daha yüksek çözünürlük, düşük sayıda hidrofobik tortu, yüksek net yük ve izoelektrik pH'ın üstünde ve altında meydana gelen elektrostatik itme ve iyonik hidrasyon bağlantılıdır (Sa vd., 2022).

Gıda üretiminde köpük oluşturmak için proteinlerden yararlanılmaktadır. Köpük, ince sürekli bir sıvı katman ile ayrılan gaz kabarcıklarından oluşmaktadır. Gıda köpükleri gazlar, sıvılar, katılar ve yüzey aktif cisimlerinin bir karışımını içeren karmaşık sistemlerdir. Köpürme özelliği kek, dondurma, krema, hazır şantiler, ekmek gibi ürünlerin tekstürel özelliklerine yardımcı olmaktadır (Saldamlı, 2017).

Gıda jelleri, akışa direnen ve deformasyon üzerine farklı yapısal şekillerini koruyan yüksek nemli, 3D polimerik ağlar olarak kabul edilmektedir. Gıda jelleri; özelliklerinin ağda bulunan bileşenler tarafından belirlendiği sürekli bir sıvı fazda dağılmış çeşitli makromoleküller veya birbirine bağlı parçacıklardan oluşan sürekli bir

ağdır. Proteinlerin jel oluşumu; moleküler açılım, ayrışma-birleşme ve agregasyon gibi dönüşümlere yol açan ısıtma yoluyla indüklenebilmektedir (Berghout, 2015).

Bir jel, katı ve sıvı arasındaki bir ara durum olarak tanımlanmaktadır. Gıda sistemlerinde sıvı sudur ve moleküler ağ proteinler, polisakkaritler veya her ikisinin karışımından oluşmaktadır. Proteinler karbonhidratlardan daha etkili jelleştirici özelliğe sahiptir. Dolayısıyla büyük moleküller üç boyutta çapraz bağlar oluşturabilmektedir. Jel oluşturmak için, agregasyon ve çözünürlük arasındaki sınırda kısmi jelleşme meydana gelmektedir. Bunun yanı sıra üçüncül yapının açılması kovalent bağların kırılması olmadan uzun zincirler verdiği için kısmi denatürasyon arzu edilmektedir. Jellerin özellikleri, çözücü ve moleküler ağ arasındaki etkileşimlerin bir sonucudur. Protein tipine, amino asit bileşimine, pH ve iyonik kuvvet gibi diğer dış etkenlere bağlı olarak şeffaf veya pıhtılaştırıcı olmak üzere iki çeşit jel oluşmaktadır (Moure, 2006).

Emülsiyon aktivite indeksi (EAI) ve emülsiyon stabilite indeksi (ESI), protein tozlarının emülsifiye edici özelliklerini ortaya koymak için sıklıkla kullanılan iki indekstir. Proteinler, sulu bir ortamda dağılan yağ damlacıklarının etrafında bir film veya kabuk tabakası oluşturmasıyla birlikte emülgatör görevi görmektedir. Dolayısıyla birleşme, kremleşme, topaklanma veya çökme gibi yapısal değişiklikleri önlemektedir. Bu nedenle proteinlerin emülsifiye edici özellikleri, hidrofobiklik/hidrofiliklik oranlarından ve dağılmış yağ damlacıklarının etrafında bir film veya kabuk oluşturmak için gereken kolaylığı belirleyen yapısal kısıtlamalardan etkilenmektedir (Boye vd., 2010).

Proteinlerin su tutma kapasitesi, “bir gram proteinin bağladığı suyun gram olarak miktarıdır” şeklinde tanımlanmaktadır (Saldamlı, 2017). Gıda uygulamalarında su tutma kapasitesi, suyu yerçekimine karşı tutma yeteneği ile ilişkilidir ve bağlı suyu, hidrodinamik suyu, kılcal suyu ve fiziksel olarak hapsolmuş suyu içermektedir. Proteinlerdeki su miktarı, amino asit profili ile yakından ilişkilidir ve yüklü kalıntıların sayısı, hidrofobiklik, konformasyon, sıcaklık, iyonik güç, pH ve protein konsantrasyonu ile artmaktadır (Moure, 2006).

Yağ tutma kapasitesi, protein ve matris içindeki yağ arasındaki hidrofobik etkileşimler nedeniyle proteine bağlı yağ miktarını ifade etmektedir. Pek çok protein, katı yağ oluşumları nedeniyle yağda çözünmez (Ashaolu, 2020). Yağlarla polar olmayan etkileşimleri kolaylaştıran proteinlere bağlı polar olmayan yan zincirlerin derecesini yorumlamak için kullanılabilir. Yağ tutma kapasitesi, proteinlerin yüzey hidrofobikliği ve serbest sülfidril içeriği ile doğru orantılıdır (Julakanti vd., 2023).

Proteinler, yağ-su ara yüzeylerine adsorbe olma ve ara yüzey filmleri oluşturma özelliklerinden dolayı gıda sistemlerinde emülgatör olarak kullanılmaktadır. Proteinlerin yüzey aktivitesi, peptid zincirlerinde hem hidrofobik hem de hidrofilik bölgelerin var olması ve bu moleküllerin sahip olduğu amfifilik özellikten kaynaklanmaktadır. Arayüzeyde proteinler bir defa yüzey denatürasyonuna uğramakla birlikte hidrofobik ve hidrofilik amino gruplarını her biri ayrı olacak şekilde yağ faz ve sulu fazda konumlandırmak için kendilerini yeniden düzenlemektedir. Bu nedenle arayüzey gerilimini ve sistemin genel serbest enerjisini azaltmaktadır (Sullivan vd., 2016).

Son yıllarda proteine olan ihtiyacın arttığı gözlenmiştir. Fakat hayvansal protein kaynaklarının yüksek ve kaliteli protein içermesinin yanı sıra, sık tüketiminde kalp damar hastalıkları, kolesterol, doymuş yağ oranlarının fazlalığı gibi olumsuzluklarından dolayı ucuz ve geniş tüketim olanaklarına sahip bitkisel protein kaynaklarına yönelim artış göstermiştir. Bu nedenle yüksek miktarda protein içeren yağlı tohumların üretilmesi daha çok önem kazanmıştır. Vegan ve vejeteryan gibi özel tüketici grupları için de bitkisel kaynaklı proteinler önem arz etmektedir. Gıda uygulamalarında kullanılan bitkisel proteinlerin; protein içeriği %90 ve üzeri olan protein izolatu veya protein içeriği %48-70 arası olan protein konsantresi olarak üretimi söz konusudur (Çetiner ve Bilek, 2018).

## **2.6 Susam Proteini Özellikleri**

Susam tohumlarının kuru ağırlığının yaklaşık %15-25'i (yağı alınmış susamlı kek kütlelerinin %30-50'si) proteindir (Ölmez ve Sevilmiş, 2021). Susam proteinleri 11S globulin ( $\alpha$ -globulin) ve 2S albümin ( $\beta$ -globulin) olmak üzere iki ana depolama

proteini içermektedir. 11S globulin ve 2S albümin, toplam susam proteinlerinin %80-90'ını oluşturmaktadır (Onsaard, 2012).

Gıdaların besin değerini artırdığından dolayı susam proteinlerinin gıda endüstrisinde bir bileşen olarak kullanım alanı oldukça fazladır (Yüzer ve Gençcelep, 2022). Susam proteininin temel özelliklerinden birisi, yüksek miktarda metiyonin ve triptofan içermesidir. Susamı diğer yağlı tohumlardan ayıran metiyonin (%2,5-4,0) içeriği iken lizin ve izolösin bakımından susam yetersiz bir üründür (Medina vd., 2011). Susam tohumlarında bulunan proteinlerin birçoğu globulinler (%67,3); albüminler (%8,6); prolaminler (%1,4) ve glutelinlerdir (%6,9) (Achouri vd., 2012). Susam proteini yüksek besin değerinin dışında gıda katkı maddesi olarak da kullanılmaktadır. Susam proteinlerinin fonksiyonel özellikleri arasında yağ tutma kapasitesi, köpürme özelliği, emülsifiye edici aktivitesi yer almaktadır. Bu özelliklerden dolayı susam proteininin gıdalarda emülgatör olarak kullanımı söz konusudur (Fathı vd., 2018).

Susam proteinlerinin, gıda ürünü geliştirme sırasında belirli işlevsellikler göstermesi beklenmekte ve bu fonksiyonel özellikler onların gıda sistemlerindeki davranışlarını şekillendirmektedir. Örneğin, susamlı içecek için çözünürlük özelliği, susamlı kekler gibi çırpılmış gıdalarda köpürme özelliği ve dondurma gibi kremalı susam ürünlerinde ise emülsifikasyon özellikleri gıdalarda kullanılmaktadır. Bununla birlikte son zamanlarda yaygın olarak uygulanan protein modifikasyonu ile birlikte fonksiyonel özellikleri geliştirilmiş bitkisel proteinlerin (özellikle de susam proteininin) gıdalarda kullanım potansiyeli artmıştır (Hua vd., 2023).

## **2.7 Proteinlerin Fonksiyonel Özelliklerinin Geliştirilmesi**

Bitkisel proteinin saflaştırılması son ürünün besin değerini, fizikokimyasal ve ısıl işlem süreçlerini etkilemektedir. Ayrıca proteinlerin gıda ürünlerindeki diğer bileşenlerle etkileşimleri nihai olarak proteinin fonksiyonel özelliklerini ve uygulamalarını belirlemektedir. Proteinler gıdalara eklendiğinde köpürme kapasitesi, viskozite, emülsifikasyon, su ve yağ tutma kapasiteleri gibi fonksiyonel özellikleri kazandırmaktadır. Proteinlerin işleme, üretim ve depolama sırasındaki davranışları moleküler özelliklerden etkilenmektedir. Protein boyutu; ara yüz etkileşimleri ve

filmlerin dayanma gücü ile ilişkilendirilmiştir. Amfifilik özellikler, polar ve polar olmayan kalıntıların dağılımı, ara yüzey etkileşimleri, köpürme ve emülsifiye etme aktiviteleri ile yakından ilgilidir. Esneklik, film, köpük ve emülsiyonların oluşumuna etki etmekte ve yüklü grupların varlığı filmlerdeki protein-protein etkileşimini, köpüklerdeki kabarcıkları, sudaki hidrasyonu ve çözünürlüğü etkilemektedir. Amino asit bileşimi ise organoleptik ve antioksidan özelliklerini belirlemektedir (Moure vd., 2006).

Proteinlerin taşıdığı fonksiyonel özelliklere; proteinin içermiş olduğu aminoasit kompozisyonu, protein yapısı ve şeklinin (yüzey hidrofobikliği, hidrofobik/hidrofilik oranı gibi) yanısıra ekstraksiyon ve kurutma gibi işlemlerde kullanılan yöntemler ve parametreler etki etmektedir. Ayrıca protein izolatlarının fonksiyonel özelliklerinin değişkenlik göstermesi ile birlikte elde edilme yöntemi veya uygulanan diğer işlemlerin de proteinin fonksiyonel özelliği üzerine etkisi bulunmaktadır (Yavuz ve Özçelik, 2016). Son zamanlarda birçok protein modifikasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlar genellikle kimyasal reaksiyon (glikosilasyon, asilasyon, süksinilasyon, deamidasyon, pH manipülasyonu ve fosforilasyon), biyokimyasal modifikasyonlar (fermentasyon ve enzimatik hidroliz) ve fiziksel işleme (ısı ve ısı olmayan teknikler) olmak üzere üç kategoriye ayrılmaktadır (Nikbakht vd., 2021).

Gıda proteinlerinin kimyasal modifikasyonu, etkinliği, düşük maliyeti ve kolaylığı nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Proteinlerin kimyasal modifikasyonu yeni fonksiyonel parçaların eklenmesi veya bileşenlerin protein yapısından çıkarılmasıyla sağlanabilmektedir. Kimyasal modifikasyon yöntemlerinin çoğu kimyasal madde kullandığı ve çoğu durumda kimyasal yan ürünler oluşturduğu için düzenleyici ve temiz etiket endişeleri söz konusudur. Bu nedenle bu yöntemlerden bazıları gıda uygulamaları için uygun değildir (Nikbakht vd., 2021).

Enzimatik ve fermantasyon işlemlerine dayanan biyolojik modifikasyon çevre dostu olması ve toksik yan ürünler üretmeden daha az enerji tüketmesi nedeniyle popüler bir modifikasyon tekniğidir. Ancak büyük ölçekli uygulamalarda enzim ve kültürlerin maliyeti dikkate alınmalıdır. Protein işlevselliğinin modülasyonuna ek olarak bu

yaklaşımlar sindirilebilirlik, biyoyararlanım ve ayrıca antioksidan ve antimikrobiyal özellikler de dahil olmak üzere besin kalitesini iyileştirme yeteneğine sahiptir.

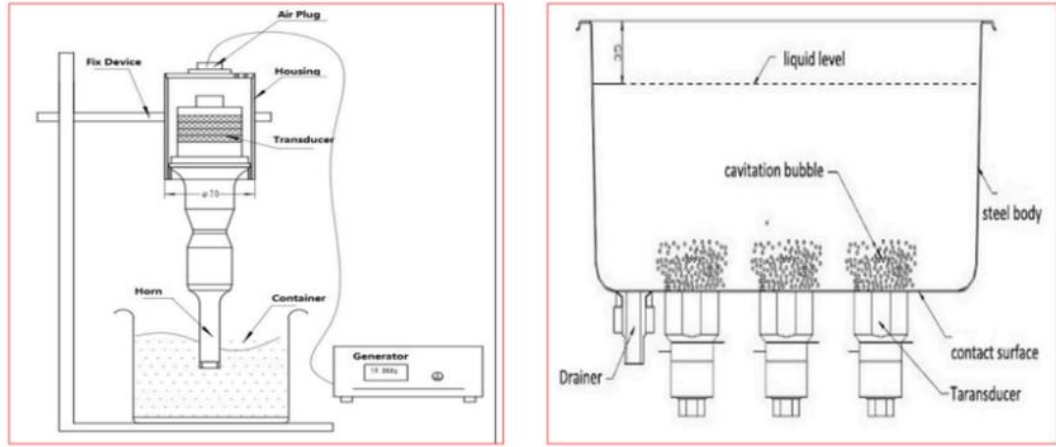
Protein modifikasyonu terimi proteinin fonksiyonel özelliklerinin ve biyoaktivitesinin iyileştirilmesi amacıyla çeşitli tekniklerle proteinlerin moleküler yapısını veya birkaç kimyasal grubunu değiştirme sürecini tanımlamaktadır. Bu yaklaşım fonksiyonel açıdan çeşitli sınırlamalara (zayıf suda çözünürlük, karmaşıklık ve pH, iyonik yük ve sıcaklık gibi çevresel etkenlere karşı duyarlılık gibi) sahip olan bitkisel bazlı proteinlerin gıda sistemleri için elverişli hale getirilmesi ve kullanım alanlarının genişletilmesinde önemli bir fırsat sunmaktadır. Genel olarak fiziksel, kimyasal, biyolojik ve diğer yeni yöntemler (amiloid fibrilasyon, kompleksleştirme gibi) olmak üzere modifikasyon teknikleri sınıflandırılabilir. Bununla birlikte proteinlerin fonksiyonelliğini artırmaya yönelik olan bu yöntemlerden fiziksel olanları, uygulama bakımından kimyasal veya enzim kullanımına dayanmayan basit yaklaşımlar olup modifikasyon sırasında hiçbir kimyasalın kullanılmaması ve dolayısıyla olası kimyasal kalıntıların zararlı sonuçlarından kaçınıldığından önemli düzeyde ilgi çekmektedir. Fiziksel modifikasyon yöntemleri ısı olmayanlar ve ısı uygulaması içerenler olmak üzere iki alt grup altında değerlendirilmektedir. Geleneksel ısıtma, mikrodalga ısıtma, ohmik ısıtma ve kızılötesi gibi teknikler ısı olan modifikasyon teknikleridir. Isı olmayan fiziksel modifikasyon teknikleri ise yüksek hidrostatik basınç, yüksek basınçlı homojenizasyon, ultrases, vurgulu elektrik alanı, ultrafiltrasyon, ultraviyole radyasyon, soğuk atmosferik plazma, ekstrüzyon gibi teknikleri içermektedir (Nasrabadi vd., 2021). Bu tekniklerden ultrasonikasyon yüksek basınçlı homojenizasyon ve yüksek hidrostatik basınç uygulaması kolay ve endüstriye aktarılabilir olmasından dolayı protein modifikasyonunda uygulamalarında ön plana çıkmaktadır.

## **2.8 Ultrases (US) İle Protein Modifikasyonu**

Günümüzde gıda endüstrisinde düşük frekanslı (16-100 kHz) ve güç yoğunluklu (10-1000 W/cm<sup>3</sup>) olarak karakterize edilen yüksek güçlü sonikasyon uygulamaları kullanılmaktadır. Sulu bir ortamda yüksek güçlü sonikasyon uygulamaları yüksek kayma enerjisi ve makrotürbülans aracılığıyla kaviteyon baloncukları oluşturmakta

ve sonrasında sıcaklığın ve basıncın yükselmesiyle baloncuklar patlamaktadır. Sistem içerisinde artan kayma enerjisi ve makrotürbülans, membran ve hücre duvarını parçalayabilmekte ve parçalanan hücrelerden maddelerin serbest duruma geçişinin yanı sıra hücre duvarına bağlı olan moleküllerin de serbest hale geçerek ekstraksiyonunu artırmaktadır. Ultrases uygulaması kavitasyon etkisinin yanı sıra substratın partikül boyutunu 10 kata kadar azaltarak ekstraksiyon verimini artırabilmektedir (Ashokkumar, 2015).

Ultrases işleminin proteinler üzerindeki etkisi ikincil ve tersiyer yapıların stabilizasyonundan sorumlu olan hidrojen bağları ve hidrofobik etkileşimleri kopararak teknofonksiyonel özelliklerin değişmesine yani modifikasyonuna neden olmaktadır. Ultrases işlemi aynı zamanda alkali ekstraksiyonla birlikte proteinlerin izole edilmesinde kullanılabilen ve yeşil teknoloji olarak kabul edilen bir teknolojidir. Ultrases üretilmesi için elektrik darbeleri dönüştürücü sistemler vasıtasıyla belirli şiddetteki akustik enerjiye dönüşmektedir. Gıda sanayisinde ultrases uygulamaları ya sonotrode ya da ultrasonik su banyosu kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Sonotrode sistemler jeneratör bileşeni içermekte ve bu sistemler belirli ultrases frekansında akım üretmektedirler. Sonrasında sistemin dönüştürücü ve yükseltici bileşenleri üretilen elektrik akımını mekanik kuvvetler ve ses dalgalarına dönüştürmektedir. Ultrases su banyosu sistemlerinde ise piezoelektrik dönüştürücü sistemi su banyosunun alt kısmına monte edilmiş olup düşük frekanslı akustik enerjiyi yüksek frekanslı ses dalgalarına dönüştürmektedir. Piezoelektrik dönüştürücü tarafından üretilen yüksek şiddetli ses dalgaları su banyosunda kullanılan sıvının parçalanmasıyla makroskobik baloncukların oluşmasına, sonrasında ise yüksek sıcaklık ve basınçta patlama ile su banyosundaki ekstraksiyon çözücü içerisinde örneklerin ayrışmasına yol açmaktadır (Ampoho ve Ngadi, 2022).



Şekil 2.3 Sonotrot (a) ve su banyosu (b) ile ultrases mekanizmasının şematik diyagramı (Ampoho ve Ngadi, 2022)

Ultrases sırasında kavitasyon etkisiyle beraber hidrojen ve hidrofobik bağların kırılmasıyla protein molekül ağırlığında azalma meydana gelmektedir. Molekül ağırlığında azalma partikül boyutunun azalmasına ve hidrofobik grupların açığa çıkmasına yol açmaktadır. Böylece solvent içerisinde protein yüzey alanı artmakta ve spesifik pH'da çözünürlük artış göstermektedir. Lv vd. (2019), ceviz protein izolatlarının, Arzeni vd. (2012) ise soya protein izolatlarının yüksek yoğunluklu ultrases ile muamele edilmesiyle izolatların çözünürlüklerinin artmasını partikül boyutunda meydana gelen azalma ile protein-su interaksiyonların artmasına bağlamışlardır. Yüksek ultrases gücünün çözünürlüğü azalttığıyla ilgili bulgular da mevcuttur. Fasulye protein izolatlarında 150 W ve 300 W'lık ultrases gücünün çözünürlüğü artırdığı ancak 400 W'lık güçte çözünürlüğü azalttığı, bu azalışın protein yapı açılışının başlaması ve büyük agregatların oluşmasından kaynaklandığı vurgulanmıştır. O'Sullivan vd. (2014) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada sodyum kazeinat, serum proteini ve süt proteini izolatlarının yapısal, fiziksel ve emülsiyon oluşturma özellikleri üzerine ultrasesin etkisi araştırılmış, protein süspansiyonlarına yaklaşık 34 W/cm<sup>2</sup> güç yoğunluğunda 2 dk süreyle ultrases uygulanmıştır. Araştırmacılar, proteinlerin partikül boyutlarının ve hidrodinamik çaplarının ultrases uygulaması ile azaldığını ancak molekül ağırlıklarında bir azalma olmadığını bildirmişlerdir. Ayrıca, ultrases uygulanan süt proteini izolatlarının ultrases uygulanmamış örneklere kıyasla 4 kat daha uzun süre kararlı kalabilen emülsiyonlar oluşturabildiği belirlenmiştir. Aynı araştırmacılar tarafından yapılan bir diğer çalışmada 3 hayvansal (sığır jelatini, balık jelatini ve yumurta beyazı proteini) ve 3 bitkisel

kaynaklı (bezelye, soya ve pirinç proteini) proteine aynı koşullarda ultrases uygulanmıştır. Ultrases uygulaması ile pirinç protein izolatu hariç diğerk tüm örneklerde partikül boyutunun önemli ölçüde azaldığı, molekül ağırlıklarında önemli bir değışim olmadığı ve ara yüzey geriliminin bezelye ve soya protein izolatlarında önemli düzeyde azaldığı belirlenmiştir (O'Sullivan vd., 2016).

Li vd. (2020), tavuk eti kas proteinlerinin emülsiyon oluşturma ve reolojik özellikleri üzerine ultrases uygulamasının etkisini araştırmışlar ve proteinlere 30 W/cm<sup>2</sup> şiddette 0, 3 ve 6 dk işlem uygulamışlardır. İşlem uygulanan proteinlerin emülsiyon oluşturma özellikleri gelişmiş ve bu proteinlerle elde edilen emülsiyonların daha uzun süre kararlı halde kaldığı belirlenmiştir. Ultrases uygulaması ile proteinlerin partikül boyut dağılımlarının azaldığı ve daha homojen bir yapı oluştuğı, buna bağılı olarak da visko-elastik özelliklerinin geliştiğı tespit edilmiştir. Ağ yapısına sahip kas proteinlerinin ultrases uygulamaları ile açıldığı, -SH grup içeriğinin ve yüzey hidrofobikliğinin arttığı gözlenmiştir. Tüm bu değışimlere bağılı olarak ultrases uygulanan kas proteinlerinin daha kararlı emülsiyon oluşturma amacıyla kullanılabilceğı ve proteinlerin fonksiyonel özelliklerinin ultrases uygulamaları ile geliştirilebileceğı vurgulanmıştır. Soya proteinlerine 80 W/cm<sup>2</sup> şiddette 0, 10 ve 25 dk süreyle ultrases uygulanan bir diğerk çalışmada, süre arttıkça proteinlerin sekonder ve tersiyer yapılarında değışimlerin olduğu, partikül boyutlarının azaldığı, çözünürlüğün, yüzey hidrofobikliğinin, jel kuvvetinin ve su tutma kapasitesinin arttığı tespit edilmiştir. Araştırmacılar soya proteinlerinin fonksiyonel özelliklerini geliştirmek için yüksek şiddette ultrases uygulamasının etkili olabileceğini ortaya koymuşlardır (Zhaeng vd., 2019).

## **2.9 Yüksek Basınçlı Homojenizasyon (YBH) İle Protein Modifikasyonu**

Yüksek basınçlı homojenizasyon, bir sıvının küçük bir delikten (valf veya meme) geçmeye zorlandığı ve kesme gerilimi, türbülans, kavitasyon, yüksek hidrostatik basınç ve çarpma gibi fiziksel faktörlerin etkisiyle agregatların dağılmasını desteklediğı, proteinin yapısını ve dolayısıyla gıdaların fizikokimyasal özelliklerinin değıştiğı bir işlemdir (Chen vd., 2017).

Yüksek basınçlı homojenizasyon öncelikle çok fazlı ürünleri stabilize etmek, karışmayan fazları homojen hale getirmek ve emülsifiye etmek ve ayrıca mikrobiyal yükü azaltmak için kullanılan yenilikçi bir teknolojidir (Levy vd., 2021). İşlem sırasında sıvı, homojenleştirici valfindeki dar bir boşluktan geçmeye zorlanmakta ve burada hızlı bir ivmeye maruz kalmaktadır. Sonuç olarak kavitasyon, kayma gerilimi ve türbülans aynı anda meydana gelmekte, mekanik bozulma ve membran değişikliği gibi fenomenlerin de indüklenmesine izin vermektedir (D'Alessio, 2023).

Proteinler üzerindeki yüksek basıncın etkileri öncelikle protein molekülleri içindeki kovalent olmayan etkileşimlerin kopması ve ardından protein molekülleri içinde veya arasında molekül içi bağların yeniden oluşumu ile ilgili olduğu belirtilmektedir. Farklı etkileşim türleri, proteinlerin ikincil, üçüncül ve dördüncül yapılarının stabilizasyonuna katkıda bulunmaktadır (Bouaouina vd., 2006). Bu tür yapısal değişiklikler, hidrojen bağlarının modifikasyonundan ve moleküller arası hidrofobik etkileşimlerden kaynaklanmaktadır (Melchior, 2022).

Gül vd. (2017) tarafından yüksek basınçlı homojenizasyonun fındık ieeğinin mikroyapısı ve reolojik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Fındık ieeğii örnekleri soğuk sıkım fındık kekinden üretilmiş olup 150 MPa seviyesine kadar farklı basınçlarda homojenizasyon uygulanmıştır. Çalışmada fındık ieeğinin sıcaklık taraması hariç mikroyapısal ve reolojik özellikleri YBH işlemlerinden büyük ölçüde etkilendiğii belirtilmiştir. Homojenizasyon uygulanan örneklerin, iki modlu ve çok dağılımlı yapıdan tek dağılımlı yapıya dönüştüğünü ve partikülboyutunun önemli ölçüde azaldığını bildirmişlerdir. YBH işleminin ürünlerin kıvamını 91,82'den 0,51 Pa.s<sup>n</sup>'ye azalttığını ve akış davranışi indeksini ise 0,15'ten 0,36'ya yükseldiğini rapor etmişlerdir. Çalışmanın sonucunda YBH işleminin fındık ieeğii örneklerinin kıvamını ve sürtünme kaybını azalttığını ve böylece işleme ve dağıtım sırasında uygulanması gereken enerji miktarını en aza indirmek için bu tekniğın kullanılabilēi sonucuna varılmıştır.

Sarıcaoğlu vd. (2018) tarafından gerçekleştirilen bir diğeri çalışmada fındık keki proteinlerine 0 MPa ve 150 MPa aralığında yüksek basınçlı homojenizasyon uygulanmış ve proteinlerin fonksiyonel ve reolojik özellikleri üzerindeki etkisi

araştırılmıştır. 75 MPa'dan daha yüksek basınç uygulamasında, fındık proteinlerinin moleküler yasının açıldığı ve bant yoğunluğunun bir miktar azaldığı gözlenmiştir. Fındık protein süspansiyonlarının 100 MPa seviyesine kadar basınç uygulamasında protein çözünürlüğü, emülsifiye etme ve köpürme gibi fonksiyonel özelliklerin iyileştiği, protein süspansiyonlarının viskozitesinin homojenizasyon basıncının artmasıyla birlikte azaldığını belirlenmiştir.

Levy vd. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada alternatif bir bitki protein kaynağı olan patates protein izolatu ile stabilizatör ilavesi olmadan yoğurt benzeri fermente edilmiş bir ürünün oluşumu için yüksek basınçlı homojenizasyon kullanımı arasındaki ilişki incelenmiştir. Başlangıç olarak protein çözeltileri, 15 °C giriş sıcaklığında ve 200 MPa basınçta homojenize edildikten sonra ise 30-200 MPa basınç aralığında ve 25 °C giriş sıcaklığında tekrar yüksek basınçlı homojenizasyon işlemi uygulanmıştır. Homojenizasyon basıncının artışıyla birlikte patates protein emülsiyonlarındaki faz ayrılmasına karşı stabilitenin arttığı gözlemlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre homojenizasyon basıncının artması ile yoğurt alternatifinin faz ayrılmasına karşı stabilitesinin arttığı ve 200 MPa sistem için minimum faz ayrılması gözlemlendiği tespit edilmiştir.

Luo vd. (2022), yüksek basınçlı homojenizasyon (0, 10, 30, 50 MPa) uygulamasının kinoa protein izolatu süspansiyonlarının fizikokimyasal, mikroyapısal ve reolojik özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. 50 MPa'da büyük protein agregatlarının bozulduğu ve partikül boyutunun önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak 50 MPa basınçtaki işlem ile suda çözünürlük, emülsifiye etme ve köpürme kabiliyetinin önemli ölçüde artış gösterdiği belirlenmiştir. 50 MPa basınçta YBH ile modifiye edilmiş kinoa protein izolatının çözünürlüğünün %9'dan %33'e yaklaşık altı kat arttığı gözlemlenirken, köpürme kapasitesinin işlenmemiş proteinine kıyasla yaklaşık iki kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca YBH ile muamele edilmiş kinoa proteini süspansiyonlarının homojen bir protein ağı mikro yapısı ile daha güçlü bir jel yapısı oluşturduğu bildirilmiştir.

## 2.10 Yüksek Hidrostatik Basınç (YHB) Tekniği İle Protein Modifikasyonu

Yüksek basınçlı işleme veya ultra yüksek basınçlı işleme olarak da bilinen yüksek hidrostatik basınç, gıdanın duysal ve besinsel özelliklerini korurken mikroorganizmaları ve enzimleri inaktive etmek için 100 ila 800 MPa arasında basınç uygulanmasını içeren termal olmayan bir gıda koruma yöntemidir. Bu teknik son yıllarda yaygınlaşarak gıda işlemenin ötesinde çeşitli uygulamalarda kullanım alanı bulmaktadır. İşlem; ısı, kimyasallar veya iyonlaştırıcı radyasyon içermediği için tamamen fiziksel bir yöntemdir. Basınç ürüne eşit şekilde uygulanarak tutarlı sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Yüksek hidrostatik basınç mikroorganizmaların inaktivasyonu, gıdalarda yapısal değişiklikler ve emülsifikasyon gibi farklı amaçlar için kullanılmaktadır.

Bu teknolojinin uygulandığı bir başka alan ise proteinlerin hidrofobik ve elektrostatik etkileşimlerinin kırılmasının yanı sıra agregasyonlarına ve ardından jelleşmelerine neden olan yeni bağların oluşumu yoluyla modifikasyondur. Farklı bitkisel bazlı proteinlerin yüksek hidrostatik basınç işlemine maruz kalması denatürasyonlarını, agregasyonlarını ve etkileşimlerini etkilediği bilinmektedir. Yüksek hidrostatik basınç işlemi proteinin hidrofobikliğini artırırken yapının açılması ve denatürasyondan sonra gömülü sülfidril gruplarını açığa çıkarma kabiliyeti nedeniyle çözünürlüğünü azalttığına dair çalışmalar mevcuttur. Yüksek hidrostatik basınç ayrıca proteinlerin agregasyon, jelleşme veya tekno-fonksiyonel özelliklerinin iyileştirilmesini de sağlamaktadır.

Literatürde bazı çalışmalar özellikle yüksek basınçlarda (>400 MPa) agregasyon nedeniyle bazı proteinlerin çözünürlüğünün agregasyona bağlı olarak azaldığını göstermektedir (Zhang vd., 2015). Bazı çalışmalar ise yüksek hidrostatik basınçın çözünürlük üzerine pozitif etki oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Cao vd. (2018) çam fıstığı proteininin 200 ve 400 MPa yüksek hidrostatik basınç işleminden sonra proteinlerin çözünürlük ve su tutma kapasitesinde iyileşme gösterdiklerini ortaya koymuşlardır. Barbunya proteini üzerine yapılan bir çalışmada, 600 MPa'dan daha yüksek hidrostatik basınç uygulamaları FTIR spektroskopisine göre proteinin ikincil yapısı üzerinde önemli bir etkiye yol açmış ve su tutma kapasitesini, köpürmeyi ve

emülsifiye etmeyi önemli ölçüde geliştirmiştir. Yüksek hidrostatik basınç işleminin keten tohumunun protein yapısına ve peptid profiline etkisinin araştırıldığı çalışmada izole edilmiş keten tohumu proteinleri tripsin ile hidrolize edilmeden önce yüksek hidrostatik basınç işlemi uygulanmıştır. Yüksek hidrostatik basınç işlemi ile keten tohumu proteinlerinin çözünürlüğünün arttığı ve yüksek moleküler ağırlıklı agregatların oluştuğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda antioksidan özellik gösteren peptidlerin oluşumunu artırdığı da rapor edilmiştir (Perreault vd., 2017). Peyrano vd. (2016) yapmış oldukları çalışmada sıcaklık veya yüksek hidrostatik basınç uygulanmış börülce protein izolatlarının fizikokimyasal ve fonksiyonel özelliklerini ele almışlardır. Çalışmada sıcaklık ve yüksek hidrostatik basınç uygulamalarının yapının açılmasını ve denatürasyon işlemini teşvik ettiği saptanmıştır. Yüksek hidrostatik basınç uygulamasının proteinlerin jelleştirme ve su tutma kapasitelerini arttırmada sıcaklık uygulamasına kıyasla daha etkili olduğu belirlenmiştir. Araştırmacılar modifiye börülce protein izolatlarının yüksek çözünürlüklerinden ötürü içeceklerde kullanımının yanı sıra jelleşme özelliği ve su tutma kapasitesini artırmasından dolayı tatlı benzeri gıda ürünlerinde de kullanılabilirliklerinin artacağını bildirmişlerdir. Diğer bir çalışmada yüksek hidrostatik basınç işleminin bebek maması kullanımında soya fasulyesi protein izolatının yapısal özellikleri ve allerjenite üzerine etkileri araştırılmıştır. İşlem parametrelerinden basınç ve sürenin önemli ölçüde allerjeniteyi etkilediği tespit edilmiştir. İşlem koşullarından 300 MPa ve 15 dk'lık uygulamanın allerjenlik derecesini işlem görmemiş kontrol örneğine kıyasla %48,6 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Soya fasulyesi izolatu için allerjenik etkinin  $\alpha$ -heliks ve  $\beta$ -sheet yapılarının ikincil yapılarıyla yakından alakalı olduğu, yüksek hidrostatik basınç işlemi ile bu yapıların modifiye olduğu ve allerjenliği azaltıp soya fasulyesi protein izolatının bebek mamaları için güvenilirliği artırdığı tespit edilmiştir. Zhou vd. (2016) yapmış oldukları çalışmada yüksek hidrostatik basıncın süs ağacı (ginkgo) tohum proteinlerinin yapısal, allerjenite ve fonksiyonel özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. ELISA testleri sonucunda 300 MPa ve 700 MPa arasında işlemin allerjenliği önemli ölçüde azalttığı tespit edilmiştir. Yüksek hidrostatik basınç işleminin proteinleri parçalara ayırdığı, 4 ile 30 kDa boyutlarında küçük moleküller oluşturduğu  $\alpha$ -heliks ve  $\beta$ -sheet'in ikincil yapılarının büyük oranda yok olduğu ve rastgele halka yapısına döndüğü, yüzey hidrofobitesi ve -SH içeriğinin önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca yüksek hidrostatik basınç uygulanmış proteinlerin ısı

stabilitelerinin ve emülsifiye edici özelliklerinin önemli derece arttığı da bildirilmiştir. Diğer bir çalışmada yüksek hidrostatik basınç işlemi ve sonrasında mikrobiyal transglutaminaz enzimi uygulamasının tatlı patates proteininin jelleşme özellikleri ve yapısı üzerine etkisi araştırılmıştır. Sülfidril grupları ve termal denatürasyon sıcaklığı yüksek hidrostatik basınç ve transglutaminaz enzimiyle birlikte artış göstermiştir. Jellerin tekstürel özelliklerinin hem yüksek hidrostatik basınç uygulanmış proteinlerde hem de sonrasında transglutaminaz ile muamele edilmiş örneklerde disülfid bağların ve lizin isopeptid bağlarının kovalent bağlanmasına bağlı olarak artış gösterdiği tespit edilmiştir (Zhao vd., 2018).

Bu çalışmada ısı olmayan yenilikçi tekniklerle yapısal değişikliğe uğratılmış ve fonksiyonel özelliği geliştirilmiş modifiye susam proteinleri tahine ilave edilerek tahinin yapısal özelliklerini iyileştirmek ve depolanması sırasında meydana gelen faz ayrımını ve buna bağlı olarak oksidasyon problemini önlemek veya en aza indirmek amaçlanmıştır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1 Materyal

Bu tez çalışmasında beyaz susam örnekleri Aslan Susam ve Tahin Gıda Mad. San ve Tic. Ltd. Şti (Eskişehir)'den tedarik edilmiştir. Sıvı tahin örnekleri ise Mnd Kahvaltılık Gıda Sanayi ve Tic. A. Ş. firmasından 5 kg'lık kovalar halinde temin edilmiştir. Kovaların üzerindeki etiket bilgileri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1 Çalışmada kullanılan tahinin bazı özellikleri

<b>Enerji ve Besin Öğeleri</b>		
<b>Besin değerleri</b>	<b>100 g için</b>	<b>100 g *RA</b>
<b>Enerji</b>	2825,11 kj / 682,17 kcal	34%
<b>Yağ</b>	53,57 g	77%
<b>Doymuş yağ</b>	8,93 g	45%
<b>Karbonhidrat</b>	17,86 g	7%
<b>Şekerler</b>	0 g	0%
<b>Lif</b>	14,3 g	57%
<b>Protein</b>	25 g	50%
<b>Tuz</b>	0,1 g	2%

\*Değerler ortalama bir yetişkinin Referans Alım Düzeyini (RA) belirtmektedir (2000 kcal)

#### 3.2 Yöntem

##### 3.2.1 Yağ Ekstraksiyonu

Susam tohumlarından soğuk presle yağ ekstraksiyonu işlemi Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümünde bulunan Koçmaksan KMS10 (Koçmaksan, Karabağlar, İzmir) tek kafa soğuk pres kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1). Yapılan ön denemelerde farklı çaplarda çıkış başlıkları denenmiş olup presleme işleminin kesiksiz gerçekleşebilmesi için uygun çap başlığı belirlenmiştir. Presleme sıcaklığı çalışma boyunca 50°C olacak şekilde sabit tutulmuştur. Soğuk pres yağ ekstraksiyon sonrası elde edilen susam posası %95,08±0,05 kuru madde,

%38,81±1,15 karbonhidrat, %38,07±0,12 protein, %11,56±1,29 yağ ve %6,63±0,19 kül içermektedir.

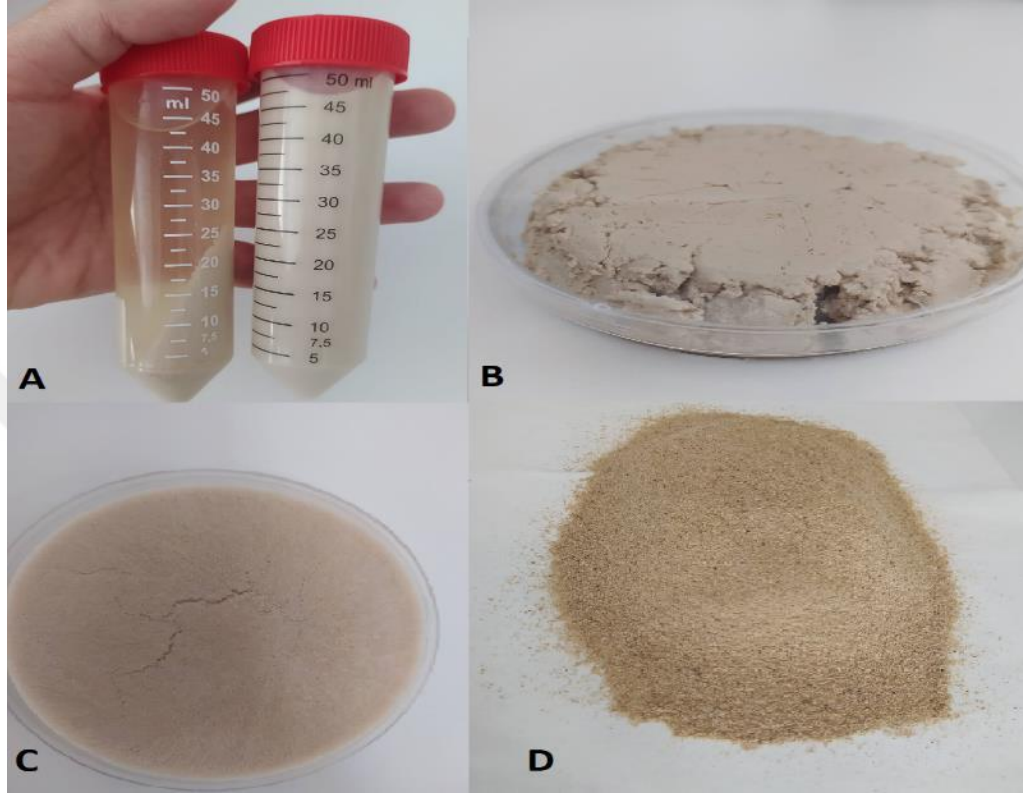


Şekil 3.1 Susamdan soğuk pres yağ ekstraksiyonu

### 3.2.2 Susam Posasından Proteinin Ekstraksiyonu

Susam posasından proteinlerin ekstraksiyonu Gandhi ve Srivastava (2007) tarafından önerilen yöntemin kısmi modifikasyonu ile gerçekleştirilmiştir. İlk olarak soğuk presten pellet halinde çıkan susam posaları parçalayıcı (Waring 80011S model, ABD) yardımıyla öğütülerek toz haline getirilmiştir. Ardından 1:9 (w/v) oranında saf su ile karıştırılmıştır. Bu karışım Ultra-Turrax (Daihan, HG-15D, Gang-Won-Do, Güney Kore) kullanılarak 9000 devir/dk hızında 3 dk boyunca homojenize edilmiş ve süspansiyonun pH'sı 1 M NaOH ile 10'a ayarlanmıştır. Posadaki proteinlerin suya geçmesi için süspansiyon manyetik karıştırıcı kullanılarak 400 rpm hızında 60 dk süreyle karıştırılmış ve pH sürekli takip edilerek değişmesi halinde tekrar 10'a ayarlanmıştır. Çözünen proteinleri çözünmeyen kısımlardan ayırmak amacıyla süspansiyon 9000 devir/dk hızda 4°C'de 10 dk süreyle santrifüj (Nüve NF-800R model, Türkiye) edilmiştir. Santrifüj sonrasında süpernatant bir beher içerisinde toplanmış ve pH'sı 1 M HCl ile 4,5'e ayarlanarak izoelektrik pH'da proteinlerin çökmesi sağlanmıştır. Ardından tekrar aynı koşullarda santrifüj edilmiş ve çökelti kısmı toplanmıştır. Toplanan çökelti önce -24°C'de 24 saat süre ile dondurulmuş ve liyofilizatör (Teknosem, Toros TRS-4/4, Türkiye) yardımıyla -56°C sıcaklıkta 10<sup>-3</sup>

mbar basınçta kurutulup kahve öğütücüsü ile öğütülerek protein izolatu tozları elde edilmiştir. Elde edilen protein izolatu %97,40±0,04 kuru madde, %90,33±0,13 protein, %4,85±0,8 karbonhidrat, %1,21±0,13 yağ ve %1,01±0,02 kül içermektedir.



Şekil 3.2 A: Ekstraksiyon sonrası ayrılan protein; B: Kurutulmamış susam protein ekstraktı, C: Liyofilizasyon sonrası susam protein ekstraktı, D: Öğütülmüş susam protein tozu

### 3.2.3 Susam Protein İzolatının Modifikasyonu

Susam protein izolatu ultrases (US), yüksek basınçlı homojenizasyon (YBH) ve yüksek hidrostatik basınç (YHB) teknikleri kullanılarak modifiye edilmiştir. Susam proteinleri ağırlıkça %4 protein içerecek şekilde saf su ile karıştırılmış ve yüksek çözünürlük değerlerine ulaşılması amacı ile karışımın pH'sı 1 M NaOH ile 7,0'a ayarlanmış ve oda koşullarında manyetik karıştırıcıda 90 dk karıştırılmıştır. Ultrases ile protein modifikasyonu Gül vd. (2023) tarafından önerilen yöntem kullanılarak susam proteinleri sabit genlik değerinde (%95 amplitude) 6 dk boyunca ultrases işlemine tabi tutulmuştur. İşlem süresince protein süspansiyonun sıcaklığındaki artışı önlemek amacıyla buz kasetleri kullanılarak sıcaklığın 40°C üzerine çıkması engellenmiştir.

YBH işlemi ile modifikasyon için hazırlanan protein süspansiyonu (%4) 100 MPa basınç değerinde yüksek basınçlı homojenizatörden (Panda PLUS, 2000; GEA Niro Soavi, Parma, Italy) geçirilmiştir. Homojenizasyon öncesi numune sıcaklığı 7 °C olarak ölçülürken, homojenizasyon sonrası sıcaklık değerleri 28-30°C arasında okunmuştur (Baskıncı ve Gül, 2023).

YHB yöntemi ile modifikasyon için protein süspansiyonu 500 mL'lik porsiyonlar halinde polietilen/poliamid torbalara doldurularak vakumlanmış ve sonrasında yüksek hidrostatik basınç düzeneğine yerleştirilmiştir (Gül vd., 2024). Basınç hücresi, saf suyla doldurulduktan sonra 100 MPa/dk basınç artış hızında 400 MPa basınçta 5 dk süreyle YHB uygulanmıştır. İşlem sonunda örnek haznesinin basıncı 250 MPa/dk hızında azaltılarak örnekler çıkarılmıştır.

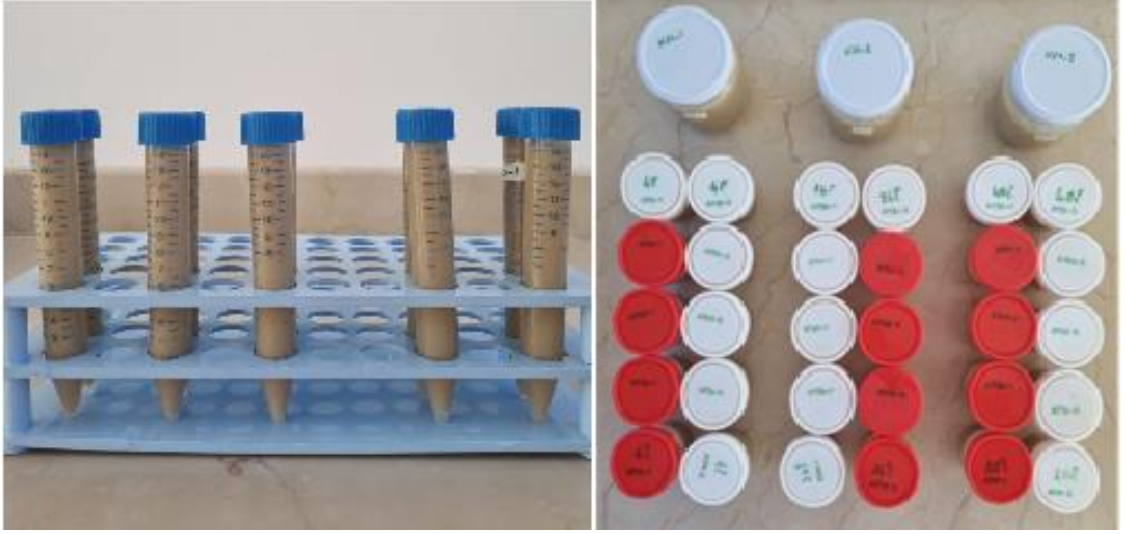
US, YBH ve YHB işlemleri sonunda protein süspansiyonları -24°C'de 24 saat bekletilerek dondurulmuş ve liyofilizatör yardımıyla dondurarak kurutma işlemine tabi tutulmuş ve ardından öğütülerek toz haline getirilmiştir.



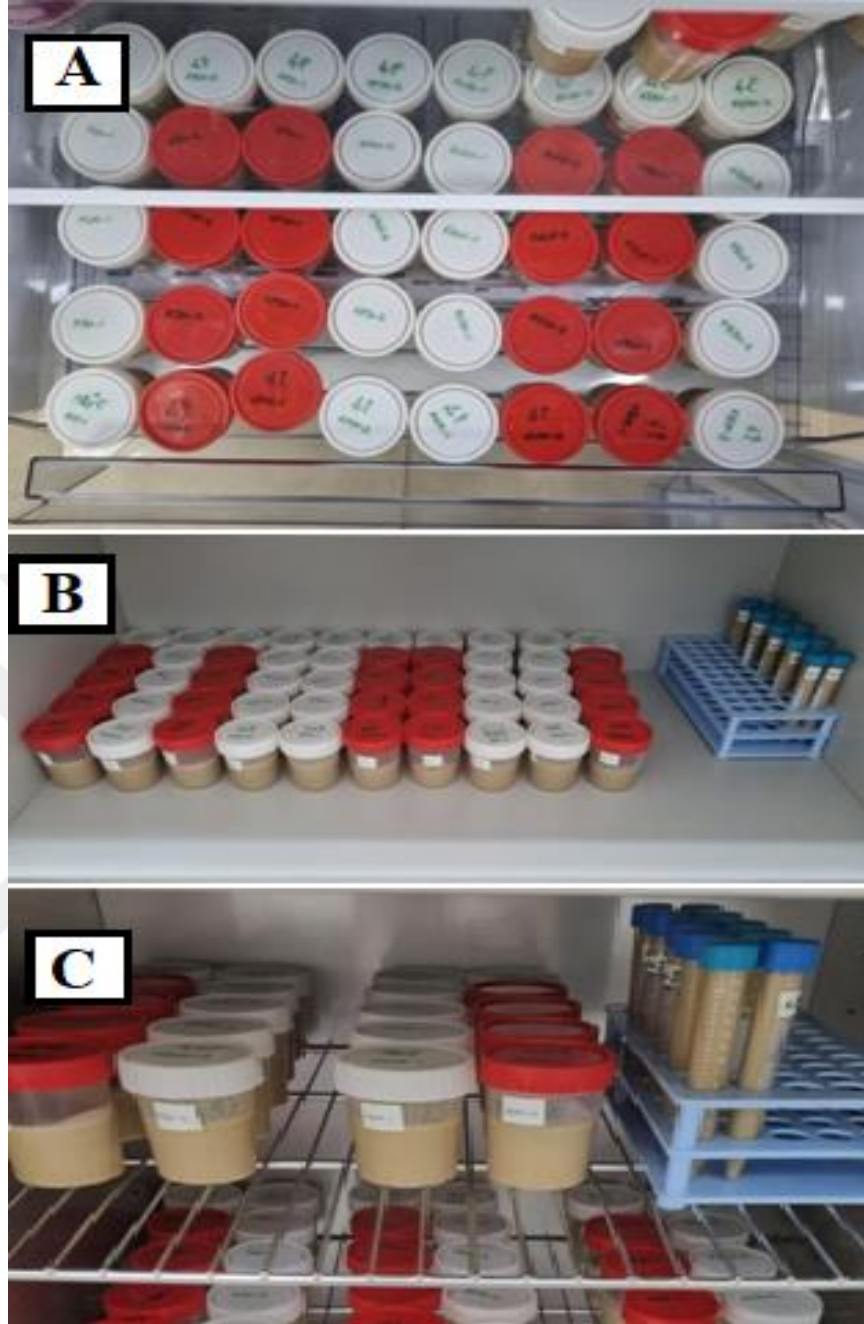
Şekil 3.3 Modifiye olmamış ve modifiye susam protein izolatları. A; İşlenmemiş susam protein izolatı, B; 100 MPa YBH ile modifiye edilmiş susam protein izolatı, C; 6 dk boyunca US ile modifiye edilmiş susam protein izolatı, D; 400 MPa YHB ile modifiye edilmiş susam protein izolatı

#### 3.2.4 Modifiye Susam Proteinlerin Tahine İlavesi

Laboratuvara getirilen sıvı tahin örneklerine %2 oranında modifiye edilmemiş ve farklı tekniklerle modifiye edilmiş susam proteini ilave edilmiştir. Protein katkılı tahinin hazırlanmasında el tipi mikser (Siemens, 350 W) kullanılmış ve protein ilavesi ile birlikte tahin 3. hız seviyesinde 2 dk boyunca homojenize edilmiştir. Homojen hale getirilen protein katkılı tahin örnekleri analiz için hazırlanmıştır. Örneklerimiz susam proteini katkısı içermeyen tahin (kontrol, K), modifiye edilmemiş susam protein katkılı tahin (TP), YBH ile modifiye edilmiş susam protein katkılı tahin (TH), US ile modifiye edilmiş susam protein katkılı tahin (TU) ve YHB ile modifiye edilmiş susam protein katkılı tahin (TB) olarak kodlanmıştır.



Şekil 3.4 Depolama öncesi tüplerde ve numune kaplarında hazırlanan tahin örnekleri



Şekil 3.5 4°C, 25°C ve 40°C’de depolanan tahin örnekleri

### 3.2.5 Gerçekleştirilen Analizler

#### 3.2.5.1 Partikül boyutu

İşlem görmemiş ve YBH, US ve YHB ile modifiye edilmiş susam protein izolatu örneklerinin partikül boyutu lazer difraksiyon partikül boyutu ölçüm cihazı (Malvern Instruments, Mastersizer 3000 model, İngiltere) kullanılarak belirlenmiştir. Belirli

konsantrasyonda (4 mg/mL) hazırlanan susam protein süspansiyoları, 1 mg/mL konsantrasyona kadar ultra saf su ile seyreltilmiş ve 25 °C’de partikül boyut analizi gerçekleştirilmiştir.

### 3.2.5.2 Zeta potansiyeli

İşlem görmemiş ve YBH, US ve YHB ile modifiye edilmiş susam proteininin zeta potansiyeli dinamik lazer ışık saçılımı (Zetasizer Nano ZS90, Malvern Instruments, Worcestershire, İngiltere) ile ölçülmüştür. Dondurularak kurutulmuş protein örnekleri ultrasaf su (%1 a/a) ile süspansiyon edilmiş ve 173° açığa ayarlanmış lazer ışığının partiküller tarafından saçıldığı bir küvete yerleştirilmiştir. Zeta potansiyel ölçümleri için süspansiyonlar 1:100 (h/h) oranında seyreltilmiş ve ölçüm 25°C’de refraktif indeks değeri 1,33’e sabitlenerek gerçekleştirilmiştir.

### 3.2.5.3 Protein çözünürlüğü

İşlem görmemiş ve YBH, US ve YHB ile modifiye edilmiş susam protein örneklerinin protein çözünürlüğü Kolompong vd. (2007) tarafından rapor edilen metot kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla dondurularak kurutulmuş susam protein örnekleri saf su kullanılarak (%1, a/a) süspansiyon edilmiş ve oda sıcaklığında 1 saat karıştırıldıktan sonra 8000 rpm’de 4°C’de 15 dk boyunca santrifüj edilmiştir (Nüve NF-800R model, Türkiye). Ayrılan süpernatant Biuret reaktifi ile birebir oranında karıştırılmış ve karışım 500 nm dalga boyunda spektrometrede (Shimadzu, UV-1800 240V, Japonya) okunmuştur. Protein miktarı sığır serum albumini kullanılarak elde edilen standart eğrisinden ( $R^2=0,9989$ ) yararlanılarak hesaplanmış ve yüzde çözünürlük Eşitlik 3.1 ile belirlenmiştir.

$$\text{Çözünürlük (\%)} = \frac{\text{Süpernatant protein miktarı}}{\text{Toplam protein miktarı}} \times 100 \quad (3.1)$$

### 3.2.5.4 Emülsiyon özellikleri

İşlem görmemiş ve YBH, US ve YHB ile modifiye edilmiş susam protein örneklerinin emülsiyon özelliklerinin belirlenmesinde emülsiyon aktivite indeksi (EAI) ve

emülsiyon stabilite indeksi (ESI) dikkate alınmıştır (Pearce ve Kinsella, 1978). Bu amaçla 0,3 g toz protein örneği 30 mL saf kullanılarak süspansiyon haline getirilmiş ve süspansiyon üzerine 10 mL ayçiçeği yağı eklenmiştir. Ardından karışım 15.000 rpm'de 1 dk boyunca Ultra-Turraks (Daihan, HG-15D, Gang-Won-Do, Güney Kore) kullanılarak homojenize edilmiştir. Emülsiyon oluştuktan hemen sonra 50 µL emülsiyon örneği alınarak 5 mL %0,1'lik sodyum dodesil sülfat ile karıştırılmış ve karışımın absorbansı 500 nm dalgaboyunda UV spektrofotometrede okunmuştur. Aynı işlem emülsiyon oluştuktan 10 dk sonra tekrarlanmıştır. EAI ve ESI sırasıyla Eşitlik 3.2 ve 3.3 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Emülsiyon aktivitesi (EAI)} = \frac{2 \times 2,303 \times A_0}{0,25 \times \text{örnek miktarı (g)}} \quad (3.2)$$

$$\text{Emülsiyon stabilitesi (ESI)} = \frac{A_{10} \times \Delta t}{\Delta A} \quad (3.3)$$

Bu formüllerdeki  $A_0$ : emülsiyon oluştuktan hemen sonraki absorbans değerini,  $A_{10}$ : emülsiyon oluştuktan 10 dk sonraki absorbans değerini,  $\Delta t$ : 10 dk ve  $\Delta A$ : başlangıç ve 10 dk sonraki absorbans değeri arasındaki farkı ifade etmektedir.

### 3.2.5.5 Yağ bağlama kapasitesi

İşlem görmemiş ve YBH, US ve YHB ile modifiye edilmiş susam protein örneklerinin yağ bağlama kapasitesi Ogunwolu vd. (2009) tarafından rapor edilen yöntem kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla 0,1 g protein izolatu tüp içerisine tartıldıktan sonra 1 mL ayçiçeği yağı ilave edilerek karıştırılmış ve ardından 8.000 rpm'de 10 dk süreyle santrifüj edilerek süpernatantı uzaklaştırılmıştır. Tüpler 45° açıyla 20 dakika süreyle bekletilmiş ve biriken yağ dökülmüştür. Ardından tüpler tartılarak ağırlık farkından bağlanan yağ miktarı belirlenmiştir (Eşitlik 3.4).

$$\text{Yağ bağlama kapasitesi (\%)} = \frac{\text{Bağlanan yağ miktarı}}{\text{Protein miktarı}} \quad (3.4)$$

### 3.2.5.6 Kuru madde analizi

Örneklerin kuru madde miktarları gravimetrik olarak belirlenmiştir. Bu amaçla kuru madde kapları 105°C'de sabit tartıma gelinceye kadar kurutulmuştur. Sabit tartıma gelen kaplar soğuması için desikatöre alınmıştır. Soğuyan kuru madde kaplarının darası alınmış, 5 g örnek tartılmış ve 105 °C sıcaklıktaki etüvde kuru madde kapları sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur. Sabit tartıma gelen kaplar soğuması için tekrar desikatöre alınmış ve tartılarak son kütle miktarları tespit edilmiştir. Eşitlik 3.5 kullanılarak örneklerin kuru madde miktarları hesaplanmıştır (AOAC, 2000).

$$\% \text{ Kuru madde} = \frac{M_1 - M_2}{M_0} \times 100 \quad (3.5)$$

$M_0$  = Örnek ağırlığı (g)

$M_1$  = Kurutma kabı ağırlığı + kuru örnek ağırlığı (g)

$M_2$  = Kurutma kabı ağırlığı (g)

### 3.2.5.7 Protein analizi

Susam küspesi, susam protein isolatı ve tahin örneklerinin protein içeriklerinin belirlenmesinde Kjeldahl yöntemi kullanılmıştır. Yaklaşık 1 g örnek Kjeldahl yakma tüpüne tartılmış ve üzerine katalizör ile 10-15 mL derişik sülfürik asit ilave edilmiştir. Tüpler yakma cihazına yerleştirilmiş ve 400°C'de berrak yeşil renk elde edilinceye kadar yakma işlemi gerçekleştirilmiştir. Soğutulan örneklere destilasyon cihazında 25 mL saf su ve 65 mL %33'lük NaOH eklenmiş ve destilasyona başlanmıştır. Destilat 25 mL %4'lük borik asit içeren erlende toplanmıştır. Destilasyonun ardından titrasyon amacıyla destilat üzerine 2-3 damla indikatör eklenmiş ve 0,1 M HCl ile titrasyon gerçekleştirilmiştir. Eşitlik 3.6 yardımıyla titrasyonda harcanan HCl miktarı kullanılarak örneklerin protein içerikleri hesaplanmıştır (AOAC, 2000).

$$\% \text{ Protein} = ((A - B) \times M \times 0,014 \times 100 \times F) / m \quad (3.6)$$

A = Örneğin titrasyonunda harcanan HCl miktarı, mL

B = Kör deneme titrasyonunda harcanan HCl miktarı, mL

M = HCl'nin molaritesi

F = Örneğe özgü faktör (6,25)

m= örnek miktarı (g)

### 3.2.5.8 Yağ analizi

Susam küspesi, susam protein isolatı ve tahin örneklerinin yağ içerikleri Soxhlet ekstraksiyon yöntemiyle tespit edilmiştir. Bu amaçla ekstraksiyon kartuşuna 5 g örnek tartılmış ve kartuşun ağzı pamukla kapatılmıştır. Soxhlet ekstraktörüne örnek içeren kartuş yerleştirildikten sonra daha önce 105°C'de kurutulmuş ve darası alınmış balonlara 1,5 sifon yapacak kadar eter konulmuş ve ekstraksiyon başlatılmıştır. En az 10 sifon yapmak suretiyle ekstraksiyon tamamlanmış, rotary evaporatörde çözücü uzaklaştırılmış ve yağ balonları 105°C sıcaklıkta etüvde kurutulmuştur. Daha sonra desikatöre alınarak soğutulan balonlar tartılmış ve aşağıdaki eşitlik kullanılarak örneklerin içermiş oldukları yağ miktarları belirlenmiştir (AOAC, 2000).

$$\%Yağ = \frac{M_1 - M_2}{M_0} \times 100 \quad (3.7)$$

$M_0$  = Örnek ağırlığı (g)

$M_1$  = Balon ağırlığı + yağ ağırlığı (g)

$M_2$  = Balon ağırlığı (g)

### 3.2.5.9 Kül analizi

Susam küspesi, susam protein isolatı ve tahin örneklerinin kül içeriklerinin belirlenmesi amacıyla, porselen krezeler 105°C sıcaklıkta sabit tartıma gelinceye kadar kurutulmuş ve desikatörde soğutulduktan sonra darası alınmıştır. Krezelere yaklaşık 3 g örnek tartılmış ve örnekler kademeli yakma ile 550°C sıcaklıkta içerik bayazımsı oluncaya kadar yakılmıştır. Ardından desikatörde soğutma işlemi gerçekleştirilmiş ve krezeler tartılmıştır. Eşitlik 3.8 kullanılarak örneklerin kül içerikleri hesaplanmıştır (AOAC, 2000).

$$\%Kül = \frac{M_1 - M_2}{M_0} \times 100 \quad (3.8)$$

$M_0$  = Örnek ağırlığı (g)

$M_1$  = Kroze ağırlığı + kül ağırlığı (g)

$M_2$  = Kroze ağırlığı (g)

### 3.2.5.10 pH analizi

Tahin örneklerinin pH değerleri dijital pH metre (Hanna HI 2002-02, Hanna, Vöhringen, Almanya) kullanılarak belirlenmiştir. Örnekler 1:2 oranında saf su ile seyreltilmiş, ultra-Turraks kullanılarak homojen hale getirilmiş ve 4°C sıcaklıkta bir gece muhafaza edilmiştir. pH ölçümü pH metre elektrodunun doğrudan örnek içerisine daldırılması ile gerçekleştirilmiştir. pH metre kullanımdan önce tampon çözeltileri (pH 4,0; 7,0 ve 10,0) ile kalibre edilmiştir.

### 3.2.5.11 Hızlandırılmış yağ ayrılması analizi

Tahinden yağ ayrımını belirlemek amacıyla 50 mL'lik falkon tüplerine tahin örneklerinden 10 g tartılmış ve 8000 devir/dk hızında 10°C'de 5 dk süreyle santrifüj (Nüve NF 800, Türkiye) edilmiştir. Ardından santrifüj sonrası üst yüzeyde biriken yağ fazı bir mikro pipet yardımıyla çekilerek tartılmış ve 10 g örnekten ayrılan yağın miktarı üzerinden (g yağ/100 g numune) % olarak hesaplanmıştır (Aydemir, 2019).

### 3.2.5.12 Serbest yağ asitliği (SYA) analizi

Tahin örneklerinin serbest yağ asitliği analizi için 50 mL'lik tüplere yaklaşık 10 g örnek tartılmış ve 8.000 x g'de 5 dk santrifüj (Nüve NF 800, Türkiye) edilmiştir. Santrifüj sonrası üst yüzeyde biriken yağdan alınarak 250 mL'lik erlene 0,8 g tartılmış ve üzerine 30 mL dietileter: etanol (1:1 h/h) karışımı ilave edilmiştir. Yağın ve yağ asitlerinin çözünmesi için 1 dk karıştırma işlemi gerçekleştirilmiş ve daha sonra 3-4 damla fenolftaleyn eklenerek 0,1 N etanollü KOH ile kalıcı uçuk pembe renk elde edilene kadar titre edilmiştir. Harcanan KOH'un hacmi kaydedilmiş ve serbest yağ asitliği % oleik asit cinsinden Eşitlik 3.9 kullanılarak hesaplanmıştır (AOAC, 2000).

$$\text{SYA (\% oleik asit)} = (V/m) \times 0,0282 \times 100 \quad (3.9)$$

V: Harcanan KOH hacmi (mL)

m: Örnek ağırlığı (g)

### 3.2.5.13 Peroksit değeri

Peroksit analizi için 50 mL'lik tüplere 10 g örnek tartılmış ve 8.000 x g'de 5 dk santrifüj (Nüve NF 800, Türkiye) edilmiştir. Santrifüj sonrası üst yüzeyde biriken yağdan 0,8 g örnek 250 mL'lik erlene tartılmış, sonrasında sırasıyla 10 mL kloroform ve 15 mL asetik asit çözeltisi ilave edilmiş ve örnek çözülünceye kadar çalkalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Ardından 1 mL doymuş potasyum iyodür çözeltisi ilave edilmiş ve ağzı kapatılarak karanlık bir ortamda 6 dk bekletilmiştir. Karanlık ortamdan alınan erlene 75 mL distile su ilave edilmiş ve hemen ardından 1 mL %1'lik nişasta indikatör çözeltisi ilave edilip 0,01 N sodyum tiyosülfat ile yavaş yavaş sabit hızda karıştırılarak titre edilmiştir. Titrasyon işlemi kağıt beyazı rengi olana kadar devam etmiştir. Sarfiyat miktarı kaydedilmiştir. Aşağıdaki eşitlik kullanılarak örneklerin peroksit seviyeleri hesaplanmıştır (AOAC, 2000).

$$PD = \frac{(Ö-K) \times N \times 1000}{M} \quad (3.10)$$

PD.: Peroksit değeri (meq O<sub>2</sub>/kg)

K: Kör için harcanan titrant hacmi (mL)

Ö: Örnek için harcanan titrant hacmi (mL)

N: Sodyum tiyosülfat çözeltisinin normalitesi

M: örnek miktarı (g)

### 3.2.5.14 Renk analizi

Tahin örneklerin  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  değerleri, siyah ve beyaz referans plakalarla kalibre edilmiş renk ölçüm cihazı (Minolta Chrometer CR-300, Japonya) kullanılarak belirlenmiştir. Renk ölçüm sisteminde  $L^*$  değeri 0-100 arasında değer almakta olup aydınlık ve karanlığın bir ölçüsü olarak kullanılmakta, 0 siyaha, 100 beyaza karşılık gelmektedir.  $a^*$  değerinin ise pozitif (+) değerleri kırmızılığı, negatif (-) değerleri ise yeşilliği göstermekte,  $b^*$  değerinin pozitif (+) ve negatif (-) değer alması sırasıyla sarılığı ve maviliği ifade etmektedir. Ölçümler örneklerin yüzeyinde rastgele seçilen 3 farklı noktadan elde edilmiştir. Toplam renk farklılığı ( $\Delta E$ ) aşağıdaki formül dikkate alınarak hesaplanmıştır (Jin vd., 2022b).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L *)^2 + (\Delta b *)^2 + (\Delta a *)^2} \quad (3.11)$$

### **3.2.5.15 Mikroyapının belirlenmesi**

Tahin örneklerinin mikro-yapısal özellikleri ışık mikroskopunda görüntüleri alınarak belirlenmiştir. Bu amaçla 10 µL kadar tahin örneği mikroskop lamı üzerine yerleştirilmiş ve daha sonra örneğin üzeri bir lamel yardımıyla kapatılmıştır. Örneklerin bir ışık mikroskopuna (Leica Microsystems, DM750 model, İsviçre) monte edilmiş kamera (Leica DFC295 model) yardımıyla görüntüleri alınıp kaydedilmiştir (Saatchi vd., 2022).

### **3.2.5.16 Zeta potansiyeli analizi**

Tahin örneklerinin zeta potansiyel değerleri Zetasizer Nano ZS90 (Malvern Instruments, Worcestershire, İngiltere) kullanılarak belirlenmiştir. Ölçüm 25°C'de refraktif indeks değeri 1,33'e sabitlenerek gerçekleştirilmiştir.

### **3.2.5.17 Tekstür profil analizi**

Farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerin ve kontrol tahininin sıklık ve sürülebilirlik özellikleri TA.XT Plus Tekstür analiz cihazı (Stable Micro Systems, Godalming, İngiltere) kullanılarak sürülebilirlik probu (HDP/SR) ile 25±0,1°C sıcaklıkta belirlenmiştir. Bu amaçla örnekler 90° açılı dişi örnek haznesine haznenin içinde hava kalmayacak şekilde yerleştirilmiş ve 90° açılı erkek prob ile örneklere 25 mm boyunca 3 mm/s hızda sıkıştırma kuvveti uygulanmıştır. Örneklerin sıklık ve kayma gerilimi değerleri cihaz yazılımı tarafından belirlenmiştir (Guneser ve Zorba, 2014).

### **3.2.5.18 Reolojik analizler**

#### **3.2.5.18.1 Akış özellikleri**

Farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerin ve kontrol tahininin akış özellikleri 25±0,1°C sıcaklıkta 25 mm çaplı, düzlem-düzlem

geometriye sahip prob (CP50) kullanılarak gerilim ve deformasyon kontrollü reometre cihazı (Anton Paar, MCR 302 model, Avusturya) ile belirlenmiştir. Bu amaçla sabit plaka üzerine yerleştirilen 500 µL tahin örneği hareketli plaka (PP25) altında, 0-100 s<sup>-1</sup> arasında değişen kayma hızlarında rotasyonel deformasyona tabi tutulmuş ve deformasyon boyunca örneklerde uygulanan kayma gerilimleri cihaz tarafından ölçülmüştür. Elde edilen kayma hızı - kayma gerilimi grafiklerinden aşağıda verilen Ostwald de Waele (Eşitlik 3.12), Bingham plastik (Eşitlik 3.13) ve Herschel-Barkley (Eşitlik 3.14) eşitlikleri yardımıyla modellenmiştir.

$$\tau = K \times \gamma^n \quad (3.12)$$

$$\tau = \tau_0 + \eta_\infty \times \dot{\gamma} \quad (3.13)$$

$$\tau = \tau_0 + K \times \dot{\gamma}^n \quad (3.14)$$

$\tau$ : kayma gerilimi (Pa)

$\dot{\gamma}$ : kayma hızı (s<sup>-1</sup>)

K: kıvam indeksi (Pa.s<sup>n</sup>)

n: akış davranış indeksi

$\tau_0$ : akma gerilimi (Pa)

$\eta_\infty$ : Bingham plastik viskozitesi (Pa.s)

### 3.2.5.18.2 Dinamik reolojik özellikler

Farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerin ve kontrol tahininin viskoelastik özelliklerinin belirlenmesi için 25±0,1°C sıcaklıkta 500 µL tahin örneği hareketli plaka altına yerleştirilerek dinamik reolojik testler gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla ilk olarak lineer viskoelastik bölge belirlenmiş, cihaza yerleştirilen örneklere 0,628 rad/s frekansta 0,01-100 Pa aralığındaki kayma gerilimleri uygulanmış ve frekans taramasında kullanılacak deformasyon stresi 1 Pa olarak belirlenmiştir. Ardından 0,628-62,8 rad/s aralığında frekans taraması gerçekleştirilmiş ve elde edilen viskoelastik modüller aşağıdaki power-law eşitliği kullanılarak modellenmiştir.

$$G' = K' \times \omega^{n'} \quad (3.15)$$

$$G'' = K'' \times \omega^{n''} \quad (3.16)$$

$G'$ : depo modülü (Pa)

$G''$ : kayıp modülü (Pa)

$\omega$ : frekans (rad/s)

$K'$ ,  $K''$ ,  $n'$  ve  $n''$ : model parametreleri

### 3.2.5.19 Duyusal analiz

Tahin örneklerinin duyusal analizi için eğitimli panelistlerden ürünlerin görünüş, doku, lezzet ve genel beğeni açısından değerlendirilmesi istenmiştir. Analiz öncesi panelistlere ürünler hakkında bilgilendirilme yapılmıştır. 1 ile 5 arasında Tablo 3.2'de belirtilen hususlar dikkate alınarak değerlendirme yapılması istenmiştir. Örnekler üç haneli rastgele rakamlarla kodlanmış ve panelistlere rastgele sırada sunulmuştur.

Tablo 3.2 Tahin örneklerinin duyusal değerlendirme formu ve puanlama test skalası

Kriterler	305	442	672	419	785
Görünüş					
Doku					
Lezzet					
Genel Beğeni					

#### TAHİN İÇİN DUYUSAL PUANLAMA TEST SKALASI

##### GÖRÜNÜŞ SKALASI

5. Düzgün ve homojen görünümlü, hafif sarı-krem parlak/canlı bir renk.
4. Düzgün ve homojen görünümlü, sarı-krem renkte hafif koyulaşma, parlaklıkta hafif azalma.
3. Düzgün ve homojen görünümlü, sarı-krem renkte koyulaşma, parlaklıkta azalma.
2. Düzgün ve homojen görünümde azalma, sarı-krem renkte belirgin koyulaşma, parlaklıkta belirgin azalma.
1. Düzgün olmayan heterojen görünümlü, koyu sarı-krem, mat ve soluk bir renk

Tablo 3.2'nin devamı

---

**DOKU SKALASI (AĞIZ İLE)**

---

5. Hafif yapışkan, derli toplu, lifli ve yağlı bir doku, kumsu yapı veya rahatsız edici partikül yok.
4. Hafif yapışkan, derli toplu, lifli bir doku, yağlılıkta hafif azalma, kumsu yapı veya rahatsız edici partikülde hafif artma var.
3. Yapışkan, hafif dağılan bir doku, yağlılıkta azalma, kumsu yapı veya rahatsız edici partikülde artma var.
2. Yapışkan, ağıza sıvaşan, dağılan bir doku, yağlılıkta belirgin azalma, kumsu yapı veya rahatsız edici partikülde belirgin artma var.
1. Aşırı yapışkan, aşırı ağıza sıvaşan, aşırı dağılan bir doku, yağlılıkta aşırı azalma, kumsu yapı veya rahatsız edici partikülde aşırı artma var.

---

**LEZZET SKALASI**

---

5. Tipik tahin lezzeti algılanıyor, tatlılık iyi, dolgun bir tat ve tat sonrası izlenim iyi.
  4. Tipik tahin lezzetinde hafif azalma var, tatlılık iyi, hafif dolgun bir tat ve tat sonrası izlenim iyi.
  3. Tipik tahin lezzetinde azalma var, tatlılık normal, hafif acılık (ransit) var, hafif yavan bir tat ve tat sonrası izlenim normal.
  2. Tipik tahin lezzetinde belirgin azalma var, tatlılıkta normal, acılık (ransit) var, yavan ve yabancı bir tat, tat sonrası izlenim kötü.
  1. Tahin lezzeti algılanmıyor, tatlılık kötü, acılık (ransit) var, çok yavan ve yabancı bir tat, tat sonrası izlenim kötü.
- 

### 3.2.5.20 Depolama stabilitesi

Tahin örneklerinin depolama stabilitelerinin belirlenmesi amacıyla örnekler 4°C, 25°C ve 40°C sıcaklıklarda depolanmıştır. Faz ayrımı ölçümleri 180 gün boyunca yapılırken, serbest yağ asidi ve peroksit analizleri 90 gün boyunca gerçekleştirilmiştir.

Depolama sırasında tahin örneklerindeki faz ayrımını belirlemek için tahin falkon tüplerine konulmuş ve depolama boyunca üst yüzeyde biriken yağ şırınga ile çekilerek ağırlığı belirlenmiştir. Ayrılan yağ oranı, yağ miktarının başlangıç yağ miktarına bölünmesiyle hesaplanmıştır.

### 3.2.6 İstatiksel Analizler

Tahine protein ilavesi 3 tekerrürlü olacak şekilde gerçekleştirilmiş ve analizler en az 2 tekrarlı yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ortalama  $\pm$  standart sapma olarak verilmiştir. Verilerinin istatistiksel değerlendirmesi SPSS Statistics 21.0 programı (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizlerin sonuçları ayrı ayrı tek yönlü varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuş ve ortalamalar arasındaki farklılık Duncan çoklu karşılaştırma testi ile belirlenmiştir. Reolojik sonuçlar ise, reometrenin yazılım paket programı (Anton-Paar, Rheo Compass v1.21, Avusturya) ile değerlendirilmiştir.

Tahin örneklerinin depolama süresince faz ayrımı, serbest yağ asidi ve peroksit değişim kinetiğinin matematiksel olarak belirlenmesi amacıyla, elde edilen veriler kinetik modellemeye tabi tutulmuş ve reaksiyon derecesi ve ilgili katsayılar Eşitlik 3.17 ve 3.18 kullanılarak belirlenmiştir.

Reaksiyon derecesi 0 için reaksiyon hız denklemi ve kalite değişimi;

$$k = -\frac{dC}{dt} \text{ ve } C = C_0 - k * t \quad (3.17)$$

Reaksiyon derecesi 1 için reaksiyon hız denklemi ve kalite değişimi;

$$kxC = -\frac{dC}{dt} \text{ ve } C/C_0 = \exp(-k * t) \quad (3.18)$$

Burada,  $k$  reaksiyon hız sabiti;  $C_0$   $t=0$  anındaki konsantrasyon (başlangıç konsantrasyonu);  $C$   $t=t$  anındaki konsantrasyon;  $t$  depolama süresidir.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1 Susam Proteininin Özellikleri

#### 4.1.1 Partikül Boyutu ve Zeta Potansiyeli

Modifiye edilmemiş (kontrol) ve farklı yöntemlerle modifiye edilmiş susam protein örneklerinin partikül boyut ve zeta potansiyel sonuçları Tablo 4.1'de verilmiştir. Kontrol örneğinin ortalama partikül boyutu nispeten büyük (65,73  $\mu\text{m}$ ) olup farklı yöntemlerle uygulanan modifikasyon işlemi neticesinde önemli düzeyde azalma tespit edilmiştir ( $P<0,05$ ). Benzer sonuç literatürde yer alan çeşitli çalışmalarda da ortaya konmuş olup Yan vd. (2024) YBH ve US gibi yöntemlerle modifiye ettikleri bezelye proteininin partikül boyutunun modifikasyon sonrası yaklaşık 4 kat küçüldüğünü bildirmişlerdir. Bunun nedeni YHB, US, YBH gibi fizikler yöntemlerle modifikasyon sırasında protein molekülleri üzerinde meydana gelen kayma, kavitasyon, türbülans etkilerinden kaynaklanıyor olabilir (Chen vd., 2016; Ding vd., 2022; Jiang vd., 2017).

Tablo 4.1 Kontrol ve farklı yöntemlerle modifiye edilen susam protein izolatlarının partikül boyutu ve zeta potansiyeli

Örnek	Partikül boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Zeta potansiyeli (mV)
Kontrol	65,73 $\pm$ 6,64 <sup>a</sup>	-24,57 $\pm$ 0,62 <sup>c</sup>
YBH	1,48 $\pm$ 0,43 <sup>d</sup>	-42,8 $\pm$ 0,18 <sup>a</sup>
US	4,54 $\pm$ 0,36 <sup>c</sup>	-37,6 $\pm$ 0,47 <sup>b</sup>
YHB	7,44 $\pm$ 1,29 <sup>b</sup>	-36,8 $\pm$ 0,36 <sup>b</sup>

Sütunlarda yer alan farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları ifade etmektedir ( $P<0,05$ ). Kontrol: modifiye edilmemiş susam protein izolatı; YBH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş susam protein izolatı; US: ultrases ile modifiye edilmiş susam protein izolatı; YHB: yüksek hidrostatik basınç ile modifiye edilmiş susam protein izolatı.

Modifiye susam protein örneklerinin ortalama partikül boyutu 1,48-7,44  $\mu\text{m}$  arasında ölçülmüştür. En düşük değer YBH uygulanan örneklerde tespit edilirken en yüksek değer ise YHB yöntemi ile modifiye edilen protein örneklerinde belirlenmiştir. Kavitasyon etkisinin ürettiği türbülans ve yüksek enerjili kesme kuvveti hidrojen bağlarının hidrofobik etkileşimlerin ve elektrostatik interaksiyonların bozulması nedeniyle protein agregasyonunu azaltır, hatta ortadan kaldırmaya yardımcı olabilir

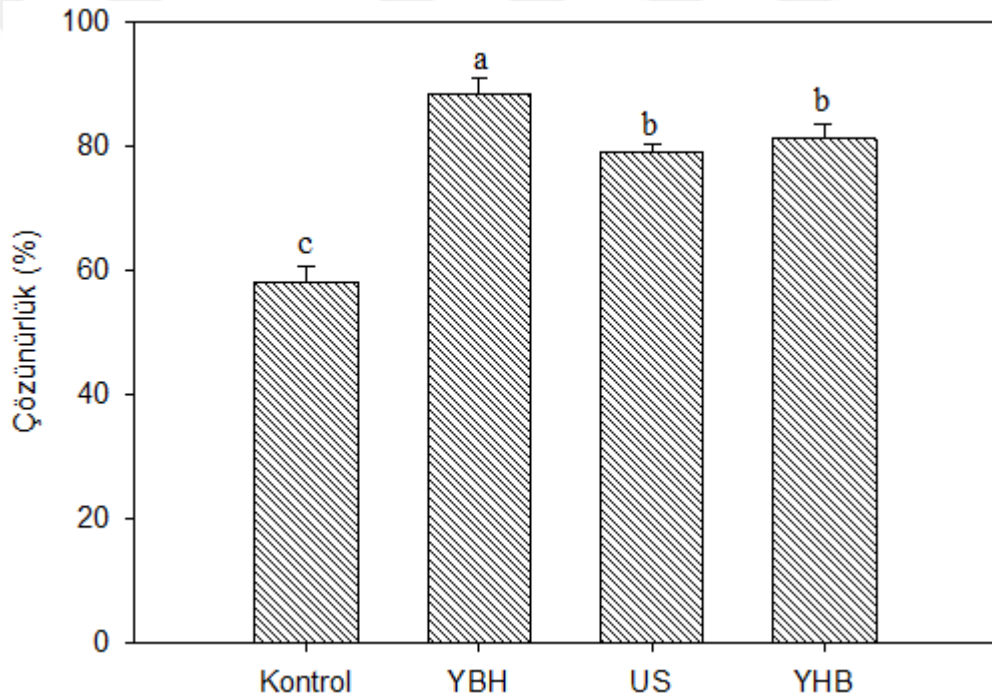
(Gao vd., 2022; Wu vd., 2020), böylece daha küçük ortalama partikül boyutu ve daha dar partikül dağılımına neden olur. Zeta potansiyeli partiküllerin elektroforetik hareketliliğinin değerlendirilmesi yoluyla dinamik ışık saçılımı yöntemiyle ölçülür ve elektroforetik mobilite verileri Henry denklemi ile zeta potansiyeline dönüştürülür (Dehnad vd., 2023; Manassero vd., 2018). Kolloidal yüzeylerde bulunan elektrik yüklerinin gücü zeta potansiyelini tanımlar ve bu faktör partikül stabilitesinin güçlü bir ölçüsüdür (Dehnad vd., 2023). Farklı amino asit kalıntılarının iyonizasyonu, protein partikülü üzerindeki etkili yükün nedeni olup bu yük iyon gücü, pH ve yüzey aktif maddelerin arayüzeydeki birikiminden etkilenmektedir. Çözelti sistemindeki zeta potansiyelinin mutlak değerinin büyüklüğü moleküller arasındaki itme kuvvetini göstermekte, bu da sistemdeki toplanma eğiliminin azalacağı anlamına gelmektedir (Gul vd., 2023). Tablo 4.1’de görüldüğü üzere susam protein örneklerinin zeta potansiyel değerleri negatif yük olarak ölçülmüş olup bu susam proteininin yüzeyinde daha fazla negatif yüklü amino asit bulunduğunu göstermektedir. Kontrol örneğinde zeta potansiyeli -24,57 ölçülmüş olup farklı yöntemlerle uygulanan modifikasyon işlemi zeta potansiyelinin artmasına neden olmuş, -36,8 ile -42,8 arasında tespit edilmiştir. Modifikasyon işlemi ile birlikte zeta potansiyelinde meydana gelen artma iyi elektrostatik itme nedeniyle protein çözeltisinin stabilitesinin artmasında önemli rol oynayacağını göstermektedir (Gul vd., 2023). Zeta potansiyelindeki artış azalan partikül boyutuna karşılık yüzey alanının artması ve protein molekülünün iç bölgelerindeki polar grupların protein moleküllerinin yüzeyine doğru hareket etmesi ve protein yüzeyinde amino asitlerin değişimi ile ilişkilidir (Tang ve Ma, 2009). Böylece, modifiye protein yüzeyinde daha fazla net yük bulunmakta ve elektrostatik etkileşimler daha sıkı bağlı kompleksler oluşturarak kompleksin stabilitesini ve dağılımını iyileştirmektedir (Wang vd., 2021). Protein modifikasyonunda uygulanan fiziksel yöntemlerle zeta potansiyelinin artışına yönelik benzer sonuçlar bulunmakta olup ultrases uygulamasının susam protein izolatının (Gul vd., 2023), yüksek basınçlı homojenizasyon uygulamasının susam protein izolatının (Baskıncı ve Gul, 2023) ve yüksek hidrostatik basınç uygulamasının tatlı patates proteininin (Zhao vd., 2018) zeta potansiyel değerlerinde artışa neden oldukları rapor edilmiştir.

#### 4.1.2 Protein Çözünürlüğü

Proteinler suda dağılabilen pozitif ve negatif yüklere sahip karmaşık elektrolitlerdir (Han vd., 2020). Çözünürlük protein hidrasyonunun spesifik bir göstergesidir; bu, yalnızca protein konformasyonel değişikliklerinin ve agregasyon özelliklerinin etkili bir göstergesi değil, aynı zamanda köpüklenme, emülsifiye etme, jelleşme, film oluşturma ve viskozite gibi proteinin fonksiyonel özellikleri için de olumlu bir parametredir (Jambrak vd., 2008). Yeni protein işleme tekniklerinin geliştirilmesinde ve ticari açıdan değerli fonksiyonel gıdaların oluşturulmasında çok önemli rol oynamaktadır (Meng vd., 2019). Bitkisel proteinlerin çoğu hayvansal proteinlerden büyük ölçüde farklılık göstermektedir ve genellikle çözünürlükleri düşüktür. Susam proteini bazı fonksiyonel özelliklerinden dolayı gıdaların çeşitli özelliklerini geliştirmek için kullanılma potansiyeline sahip olmasına rağmen, çözünürlüğünün düşük olması nedeniyle kullanımı sınırlıdır (Baskıncı ve Gul, 2023). Kontrol ve üç farklı fiziksel yöntemle modifiye edilen susam protein izolatlarının çözünürlük sonuçları Şekil 4.1’de verilmiştir. Kontrol örneğinin protein çözünürlüğü %58,03 olarak ölçülürken uygulanan modifikasyon işlemi ile birlikte çözünürlük değerinde önemli düzeyde iyileşme saptanmıştır. En yüksek çözünürlük değerine (%88,18) YBH uygulaması ile ulaşılırken US ve YHB ile modifikasyon sonrası susam proteinin çözünürlüğü sırasıyla %78,92 ve %81,09 seviyelerine ulaşmıştır. Benzer şekilde Yan vd. (2024) YBH veya US ile modifikasyon sonrası bezelye proteininin çözünürlüğünün kontrol örneğine kıyasla üç kat daha fazla olduğunu rapor etmişlerdir. Xue vd. (2018) tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada YHB, US ve YBH uygulaması sonrası miyofibriller proteinin çözünürlüğünde sadece YHB uygulamasının proteinde önemli düzeyde iyileşme sağladığını buna karşılık diğer uygulamaların protein çözünürlüğünde azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir. Bu farklılıkların çalışmada kullanılan proteinin farklı konformasyonel özelliğinden, ortamda bulunan farklı iyon kuvvetlerinden, çözelti pH değerlerinden, protein ekstraksiyonunda kullanılan farklı ekstraksiyon yöntemlerinden ve hatta modifikasyon işlem koşullarından kaynaklı olabileceği tahmin edilmektedir.

Modifikasyon sonrası protein çözünürlüğünün artmasının birkaç nedeni bulunmakta olup, birincisi uygulanan fiziksel yöntemlerin neden olduğu kavitasyon, yüksek kayma

ve türbülans gibi etkilerin daha büyük protein agregatlarını daha küçük agregatlara indirgeyerek daha çözünür hale getirmesi (Luo vd, 2022a; Tang vd., 2009); ikincisi mekanik kuvvetler ve kavitasyon kuvvetleri hidrojen bağlarını ve hidrofobik bağları bozarak proteinin kısmi bölünmesine veya açılmasına neden olması ve daha fazla yüzey alanın su molekülleriyle etkileşime girmesine neden olarak daha fazla hidrofilik amino asit kalıntısının açığa çıkmasına neden olması (Jambrak vd., 2009; Luo vd., 2022b; Tang vd., 2021); üçüncüsü, YBH, US veya YHB uygulamasının protein yüzeyindeki pozitif yüklü grupların açığa çıkmasını artırması ve böylece protein molekülleri arasında daha güçlü elektrostatik itmeye neden olarak protein çözünürlüğünün daha da artmasına yol açmasıdır (Ong vd., 2022).

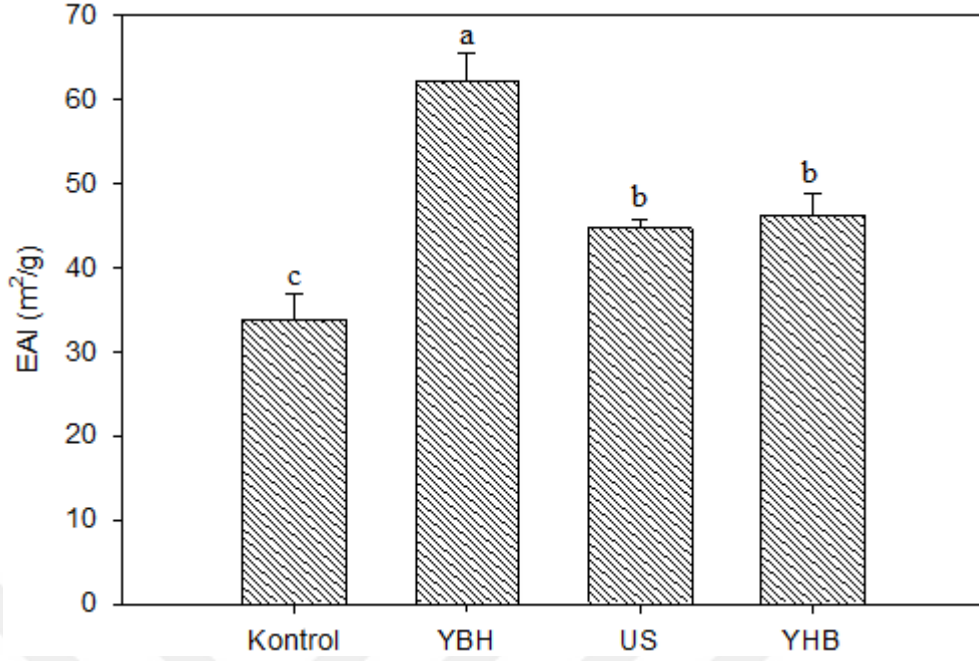


Şekil 4.1 Kontrol ve farklı yöntemlerle modifiye edilen susam protein izolatlarının çözünürlüğü (Kontrol: modifiye edilmemiş susam protein izolatu; YBH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş susam protein izolatu; US: ultrases ile modifiye edilmiş susam protein izolatu; YHB: yüksek hidrostatik basınç ile modifiye edilmiş susam protein izolatu.)

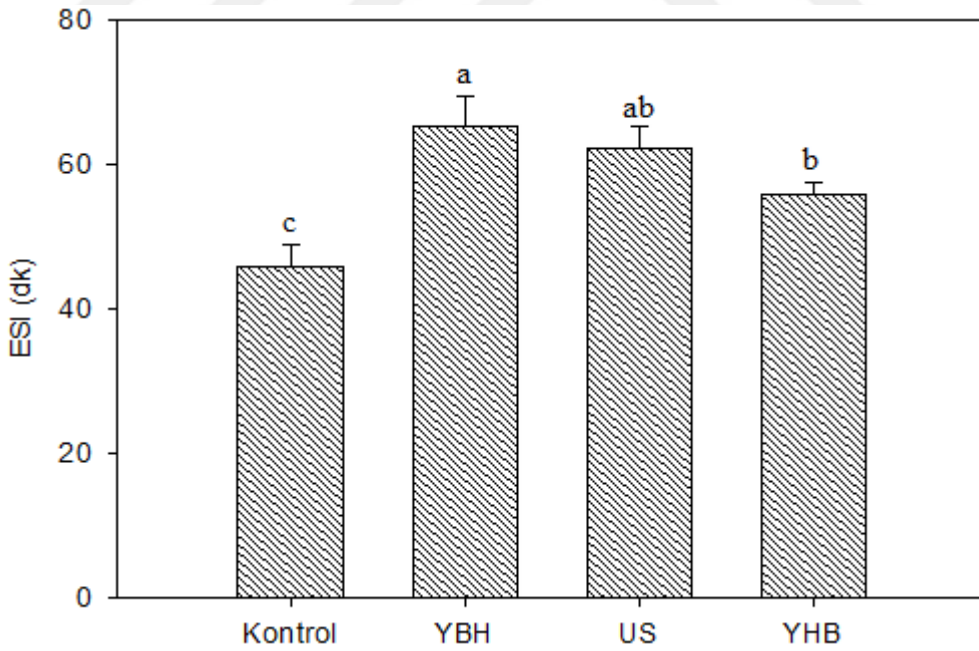
#### 4.1.3 Emülsiyon Özelliği

Proteinler, yağ/su emülsiyon sistemlerinde homojen emülsiyonlar oluşturmak için birbirleriyle karışmayan iki fazın karıştırılmasına önemli düzeyde katkıda bulunabilirler. Proteinlerin emülsifikasyonu, emülsiyon aktivite indeksi (EAI) ve emülsiyon stabilite

indeksi (ESI) olmak üzere iki endekse göre değerlendirilmektedir. EAI, proteinlerin emülsifiye etme yeteneklerini karşılaştırmak için yaygın olarak kullanılmakta olup yüksek EAI değeri proteinlerin yağ damlacığı yüzeyinde hızla adsorbe edilerek yağ-su arayüzleri oluşturabildiğini göstermektedir. ESI, proteinlerin ortaya çıkan emülsiyonun ayrılmasını önleme yeteneğini bir diğer ifadeyle belirli bir süre emülsiyonları kararlı halde tutma yeteneğini göstermektedir (Gao vd., 2022). Proteinlerin emülsifiye edici özelliklerindeki değişiklik yapısal özellikler, çözünürlük, yüzey hidrofobikliği, yağ/su oranı ve çevresel pH gibi çeşitli faktörler ile yakından ilişkilidir (Chen vd., 2019). Modifiye edilmemiş ve üç farklı yöntemle modifiye edilmiş susam protein izolatlarının emülsifikasyon özellikleri (EAI ve ESI) Şekil 4.2 ve 4.3'te verilmiştir. Kontrol örneğinin EAI ve ESI değerleri sırasıyla 33,76 m<sup>2</sup>/g ve 46,03 dk olarak belirlenmiştir. Susam proteininin modifikasyonu sonrası EAI ve ESI değerleri önemli düzeyde artma eğilimi göstermiş olup sırasıyla 44,65-62,09 m<sup>2</sup>/g ve 55,91-65,43 dk aralıklarında ölçülmüştür. En yüksek EAI ve ESI değerleri YBH ile modifiye edilen protein örneklerinde tespit edilirken EAI değerinde en az değişim US, ESI değerinde en az değişim ise YHB uygulaması sonrası gözlenmiştir. Artan EAI değeri, proteinlerin modifikasyondan sonra üretilen emülsiyon için daha yüksek emülsifiye edici aktivite gösterdiğini, daha yüksek ESI değerleri ise bu emülsiyonların depolama sırasında daha yüksek stabiliteye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Shi vd. (2020) peyniraltı suyu proteininin YBH ve US ile modifikasyonu sonrası protein örneklerinin EAI değerlerinde kontrole kıyasla sırasıyla %8,54 ve %7,63 oranında iyileşme meydana geldiğini bildirmişlerdir. Bir diğer çalışmada miyofibriller protein-soya fasulyesi yağı emülsiyonunun EAI ve ESI değerlerinin YBH ve US uygulaması ile önemli düzeyde iyileştiğini rapor etmişlerdir (Zhou vd., 2022).



Şekil 4.2 Kontrol ve farklı yöntemlerle modifiye edilen susam protein izolatlarının EAI değerleri (Kontrol: modifiye edilmemiş susam protein izolatı; YBH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş susam protein izolatı; US: ultrases ile modifiye edilmiş susam protein izolatı; YHB: yüksek hidrostatik basınç ile modifiye edilmiş susam protein izolatı.)



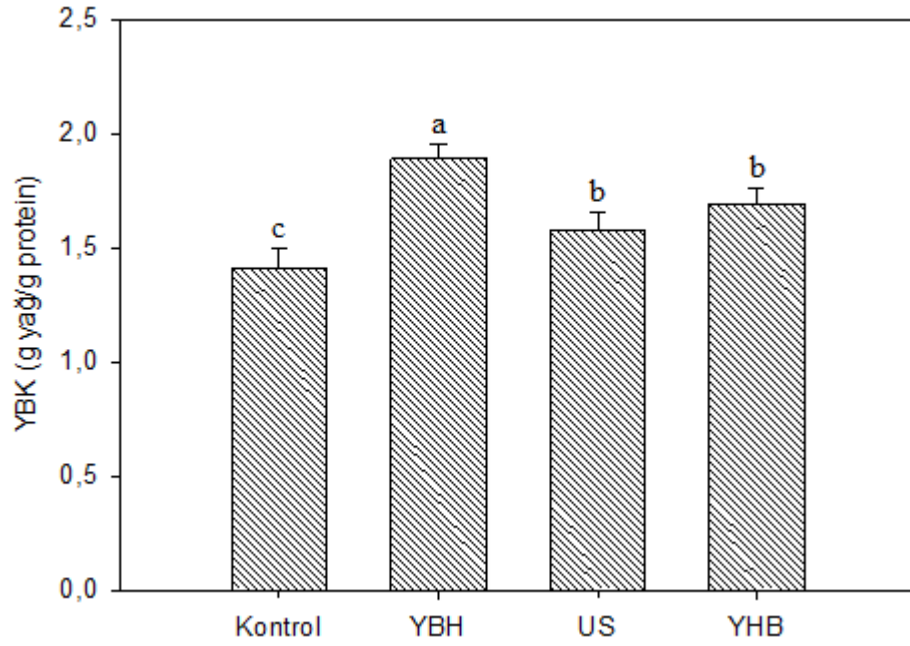
Şekil 4.3 Kontrol ve farklı yöntemlerle modifiye edilen susam protein izolatlarının ESI değerleri (Kontrol: modifiye edilmemiş susam protein izolatı; YBH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş susam protein izolatı; US: ultrases ile modifiye edilmiş susam protein izolatı; YHB: yüksek hidrostatik basınç ile modifiye edilmiş susam protein izolatı.)

Proteinlerin önemli fonksiyonel özelliklerinden biri olan EAI, genellikle yüzey hidrofobikliği ve partikül boyutu gibi proteinlerin yapısal özelliklerine bağlıdır (Jiang vd., 2014). Protein partikül boyutu ne kadar küçük olursa emülsifikasyon etkisi o kadar iyi olur (Han vd., 2020). Yüzey hidrofobikliğinde modifikasyon sonrası meydana gelen artış arayüzdeki bitişik protein molekülleri arasındaki hidrofobik etkileşimi artırabilir, böylece emülsifiye edici aktiviteyi geliştirebilir (Shen vd., 2017). Ayrıca artan protein çözünürlüğü de emülsiyon özelliklerinin iyileşmesinde rol oynamaktadır. Fiziksel yöntemlerle modifikasyon sırasında meydana gelen kavitasyon, yüksek kesme kuvveti ve türbülans, proteinin partikül boyut dağılımını yoğunlaştırabilmekte ve partikül boyutunu azaltabilmekte ve böylece proteinin yağ-su arayüzünde daha kolay adsorbe edilmesini sağlayabilmektedir (Shevkani vd., 2015; Yu vd., 2018).

#### **4.1.4 Yağ Bağlama Kapasitesi**

Katı/sıvı yağ bağlama kapasitesi: yağın fiziksel olarak hapsedilmesidir (Kinsella, 1979). Yağ bağlama mekanizması absorbe edilen yağın tutulmasına izin veren kılcak etkileşimi içerir. Hidrofobik proteinler yağ absorpsiyonunda ana rolü oynar. Sathe vd. (1982)'ye göre yağ bağlama kapasitesi, protein içerikleri, protein türleri ve proteinlerin amino asit bileşimi, özellikle de yağ moleküllerindeki hidrokarbon zincirleriyle etkileşime giren hidrofobik kalıntılarla ilişkili olabilir. Ayrıca Kinsella (1976), daha fazla hidrofobik proteinin, lipitlere daha üstün bağlanma gösterdiğini ortaya koymuş, bu da polar olmayan amino asit yan zincirlerinin, yağların parafin zincirlerine bağlandığını göstermektedir. Bu nedenle, farklı protein izolatlarının yağ bağlama kapasitesi proteinlerin partikül boyutu, içerikleri, bileşimi ve protein bileşeninin yapısından etkilenmektedir. Yağ bağlama kapasitesi ağız hissini artırmada, lezzetin korunmasında veya lezzetin iyileştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır (El Nasri ve El Tinay, 2007). Bu nedenle yağ bağlama kapasitesi unlu mamuller, çeşitli gıda formülasyonları ve et ikameleri gibi birçok gıda uygulamasında üzerinde durulması gereken husus olup özellikle yüksek yağ bağlama kapasitesine sahip bitkisel kaynaklı proteinlerin gıda endüstrisinde kullanılabilme potansiyelinin yüksek olması önem arz etmektedir.

Modifiye edilmemiş susam protein ile YBH, US ve YHB ile modifiye edilen protein örneklerinin yağ bağlama kapasiteleri Şekil 4.4'te verilmiştir. En düşük yağ bağlama kapasitesi (1,41 g yağ/g protein) kontrol örneğinde tespit edilmiştir. YBH, US ve YHB teknikleri ile susam proteininin modifikasyonu sonrası yağ bağlama kapasitesinde önemli düzeyde artış saptanmış olup ( $P<0,05$ ) en yüksek değer (1,89 g yağ/g protein) YBH ile modifiye edilen örnekte tespit edilmiştir.



Şekil 4.4 Kontrol ve farklı yöntemlerle modifiye edilen susam protein izolatlarının yağ bağlama kapasiteleri (Kontrol: modifiye edilmemiş susam protein izolatı; YBH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş susam protein izolatı; US: ultrases ile modifiye edilmiş susam protein izolatı; YHB: yüksek hidrostatik basınç ile modifiye edilmiş susam protein izolatı.)

Yağ bağlama kapasitesindeki artışın modifikasyon sırasında meydana gelen protein yapılarının kısmen çözünmesi ve yüzeydeki hidrofobik grupların açığa çıkması, yağ damlacıklarını hapsedecek bir yapıda ağ oluşumunu teşvik etmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Paglarini vd., 2019). Modifikasyonla susam proteininin yağ bağlama kapasitesindeki değişime benzer olarak Melchior vd. (2022) YBH uygulamasının bezelye proteininin yağ bağlama kapasitesi üzerine olumlu etki gösterdiğini, He vd. (2014) yüksek basınç işleminden sonra yerfıstığı protein izolatının yağ bağlama kapasitesinin basınç uygulanmamış yerfıstığı proteini ve ticari soya fasulyesi izolatlarından oldukça yüksek olduğunu, Resendiz-Vazquez vd. (2017) ultrases ile muamele ettikleri jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) tohum proteini

izolatlarının yağ bağlama kapasitesinin daha yüksek olduğunu ve 1,92 g yağ/g protein değerinden 3,22 g yağ/g protein seviyesine çıktığını rapor etmişlerdir.

## 4.2 Tahinin Özellikleri

Kontrol ve protein ilave edilmiş tahin örneklerinin fizikokimyasal özellikleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2 Farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerin ve proteinsiz kontrol tahininin fizikokimyasal özellikleri

Örnek	Kurumadde (%)	Protein (%)	Yağ (%)	Kül (%)	pH
<b>Kontrol</b>	99,88±0,01 <sup>a</sup>	24,67±0,22 <sup>b</sup>	52,72±0,3 <sup>a</sup>	2,81±0,07 <sup>a</sup>	6,12±0,01 <sup>b</sup>
<b>TP</b>	99,87±0,01 <sup>a</sup>	26,15±0,41 <sup>a</sup>	52,82±0,2 <sup>a</sup>	2,85±0,04 <sup>a</sup>	6,21±0,02 <sup>a</sup>
<b>TH</b>	99,81±0,02 <sup>a</sup>	26,09±0,28 <sup>a</sup>	52,84±0,34 <sup>a</sup>	2,84±0,07 <sup>a</sup>	6,24±0,02 <sup>a</sup>
<b>TU</b>	99,89±0,02 <sup>a</sup>	26,06±0,09 <sup>a</sup>	52,74±0,48 <sup>a</sup>	2,86±0,09 <sup>a</sup>	6,26±0,03 <sup>a</sup>
<b>TB</b>	99,58±0,06 <sup>a</sup>	26,17±0,34 <sup>a</sup>	52,79±0,18 <sup>a</sup>	2,89±0,03 <sup>a</sup>	6,23±0,02 <sup>a</sup>

Sütunlarda yer alan farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları ifade etmektedir (P<0,05). TP: modifiye edilmemiş susam protein katkılı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile homojenize edilmiş protein katkılı tahin.

### 4.2.1 Kurumadde Miktarı

Kontrol ve protein ilave edilmiş tahin örneklerinin fizikokimyasal özellikleri Tablo 4.2’de verilmiştir. Tahin örneklerinin kurumadde değerleri %99’un üstünde belirlenmiş olup örnekler arasında önemli bir farklılık tespit edilmemiştir (P>0,05). Tahin tebliğine göre (TGK, 2015) tahinde bulunması gereken maksimum su oranı %1,5 olarak sınırlandırılmış olup çalışmamızda kullandığımız tahin ve protein ilaveli tahinin tebliğe uygun olduğu söylenebilir. Tahin ile ilgili benzer çalışmalarda kurumadde değerleri %98,5’ün üzerinde saptanmış olup Özcan vd. (1994) tahinde su oranını %0,39-1,47 arasında, Sawaya vd. (1995) %0,7; Çiftçi vd. (2008) %0,3; Akbulut ve Oklar (2008) %1,14 olarak tespit etmişlerdir.

#### 4.2.2 Protein Miktarı

Tablo 4.2’de görüldüğü üzere kontrol örneğinin protein içeriği %24,67 olarak tespit edilmiştir. Tahine faz ayrılmasının önlenmesi amacı ile ilave edilen susam proteininden kaynaklı olarak örneklerin protein içeriklerinin yaklaşık %1,5 oranında arttığı gözlenmiştir. Protein ilaveli örnekler kontrol örneği ile kıyaslandığında bu artış istatistiki olarak önem arz etmektedir ( $P < 0,05$ ). Fakat protein ilaveli örnekler arasında önemli bir farklılık tespit edilmemiştir ( $P > 0,05$ ). Tahin örneklerinin protein içeriği kütlece en az %20 olmalıdır (TGK, 2015). Buna göre çalışmada kullandığımız tahin (kontrol) ve protein ilaveli tahin örneklerinin tebliğe uygun olduğu söylenebilir. Heshmati vd., (2021) yaptığı çalışmada tahinde protein oranını %20,67 olduğunu tespit etmişlerdir. Yapılan literatür taramalarında tahinde protein miktarını Akbulut ve Çoklar (2008) %23,77; Çavuşoğlu (2017) %26,79; Çiftçi vd. (2008) %27,02 ve Sawaya vd. (1995) %27,00 olarak tespit etmişlerdir.

#### 4.2.3 Yağ Miktarı

Tahin örneklerinin yağ oranları yaklaşık olarak %52 civarında tespit edilmiştir (Tablo 4.2). İstatistiksel olarak tahin örneklerinin yağ içeriklerinin birbirleriyle benzer oldukları gözlenmiştir ( $P > 0,05$ ). Susam protein ilaveli örnekler ile kontrol örneği kıyaslandığında kısmen de olsa protein ilavesi ile birlikte örneklerin yağ içeriklerinde bir artış söz konusudur. Bu durum muhtemelen ilave edilen protein izolatında bulunan (yaklaşık %1) yağdan kaynaklanmaktadır. Tahin tebliğinde tahinde bulunması gereken kütlece minimum yağ oranı %50 olarak belirtilmiştir (TGK, 2015). Örneklerimizin yağ içeriği bakımından tebliğe uygun olduğu tespit edilmiştir. Literatürde yer alan tahin ile ilgili çalışmalarda yağ içeriği %52 ile %59 arasında saptanmıştır. Yapılan çalışmalarda yağ içeriğini Akbulut ve Çoklar (2008), %55,42; Çavuşoğlu (2017), %58,37 ve Çiftçi vd., (2008), %52,2 olarak tespit etmişlerdir.

#### 4.2.4 Kül Miktarı

Tablo 4.2’de görüldüğü üzere tahin örneklerinin kül içerikleri %2,81-2,89 arasında tespit edilmiş olup kül içeriği bakımından örnekler arasında önemli bir farklılık tespit edilmemiştir ( $P > 0,05$ ). Tahin tebliğine göre tahinde bulunması gereken kül miktarı

kütlece maksimum %3,2'dir (TGK, 2015). Örneklerimizin kül içeriklerinin tebliğe uygun olduğu gözlenmiştir. Çiftçi vd. (2008) tarafından gerçekleştirilen çalışmada tahinin kül içeriğinin %1 civarında olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde Akbulut ve Çoklar (2008) tahin örneklerinin kül içeriğinin %2,78, kabuklu susamdan üretilen Bozkır tahininin kül içeriğinin ise %4,12 olarak tespit etmişlerdir. Dinçer (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada konvansiyonel ve organik tahin üretimi sonrası elde edilen tahinlerin kül içeriklerinin %3,18-3,21 arasında ve tebliğe uygun olduğu belirlenmiştir. Buna karşılık, bir diğer çalışmada tahinin kül içeriğinin %3,44 olduğu belirlenmiş ve muhtemelen tahin üretim esnasında susamdan kabuk ayırma işleminin tam olarak yapılamaması, susamdan kabuk ayırma işlemi esnasında kullanılan tuzun uzaklaştırılması için yapılmış olan yıkama işleminin yetersizliğinin kül miktarının yüksek olmasına yol açtığı düşünülmektedir (Çavuşoğlu, 2017).

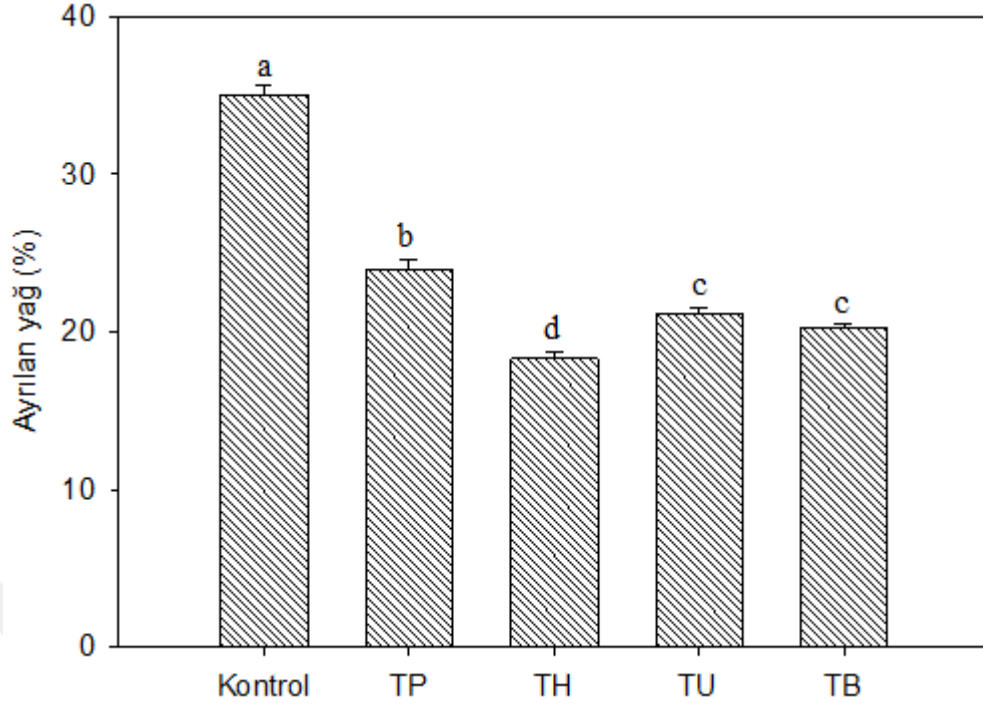
#### 4.2.5 pH

Kontrol tahin örneğinin pH değeri 6,12 olduğu tespit edilmiş olup kontrol örneği ile karşılaştırıldığında protein katkılı tahin örneklerinin pH değerlerinde 0,1-0,2 birim arasında artış olduğu gözlenmiştir ( $P < 0,05$ ; Tablo 4.2). Bu artışın çalışmada kullanılan proteinlerin hazırlanmasında pH değerinin 7,0 olarak ayarlanmasından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde tahinin pH değerlerinin oldukça geniş aralıkta (5,07-6,76) olduğu bu durumun üretim tekniklerinin farklı olması, kabukların soyulmasında kullanılan tuzun tam olarak uzaklaştırılmaması, tahin üretiminde kullanılan susamın yetiştiği bölge ve iklimden dolayı kimyasal bileşiminin farklılığı gibi faktörlerden kaynaklandığı söylenebilir. Çavuşoğlu (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmada susam tohumunun, kabuğu uzaklaştırılmış susamın ve tahinin pH değerlerinin sırasıyla 6,23; 6,53 ve 6,56 olduğu rapor edilmiştir. Bir diğer çalışmada tahinin pH değeri 6,76 olarak tespit edilmiştir (Al-Nabulsi vd., 2014). Karaman vd., (2017) tahin, bal ve üzüm pekmezi ilave ettikleri sürülebilir tahinin pH değerinin 6,5 civarında olduğunu bildirmişlerdir. Yetkin (2019) tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada tahin ve şeker pancarı lifi ilave edilen tahin örneklerinin pH değerlerinin 5,33-5,63 arasında olduğu, şeker pancarı lifi ilavesinin tahinin pH değerinde azalmaya neden olduğu ve bu durumun şeker pancarı lifinin düşük pH değerinden kaynaklandığı bildirilmiştir. Aynı çalışmada tahine susam

lifi ve lesitin ilavesinin gerçekleştirildiği ve buna bağlı olarak tahin örneklerinin pH değerlerinde artış meydana geldiği, bu durumun ise ilave edilen katkıların pH değerlerinin yüksek olması (pH 5,83 – 5,89) ile ilişkili olduğu rapor edilmiştir.

#### 4.2.6 Hızlandırılmış Yağ Ayrılması

Tahin çok fazlı bir dispersiyon sistemidir. Durgun haldeyken bile termodinamik olarak kararsız bir durum sergilemektedir. Sistemdeki partiküller ve damlacıklar Brown hareketi ve yerçekiminin etkisiyle sürekli hareket etmekte, birbirleriyle çarpışmakta, daha sonra daha ağır katı partiküller altta ve daha hafif yağ molekülleri üstte olacak şekilde katmanlaşma meydana gelmektedir. Tahinde faz ayırımı derecesi onun kalitesinin bir göstergesidir (Jin vd., 2022b). Tahin örneklerinin hızlandırılmış yağ ayrılması analizi sonucunda elde edilen ortalama değerler Şekil 4.5’de verilmiştir. Protein ilave edilmemiş tahin örneğinde yağ ayrılması %35,07 olarak belirlenmiştir. Buna karşılık protein ilave edilen tahin örneklerinde ise yağ ayrılması %18,29 ile %24,01 arasında tespit edilmiştir. Hızlandırılmış yağ ayrılması analizi sonucunda protein ilavesinin tahinde yağ ayrılmasını önemli düzeyde azalttığı gözlenmiştir ( $P<0,05$ ). Bununla birlikte susam proteininin US, YBH ve YHB uygulamaları ile protein modifikasyonu yağ ayrılması üzerine pozitif yönde önemli etki göstermiştir. Uygulanan modifikasyon işlemleri sonucunda susam proteininin fonksiyonel özelliklerinin geliştiği/iyileştiği önceki çalışmalarda (Baskıncı ve Gül, 2023; Gül vd., 2023) kanıtlanmış olup tahinde faz ayırımı üzerinde de beklenen pozitif etki gözlenmiştir. Kontrol örneği ile karşılaştırıldığında %2 oranında susam proteini ilavesi faz ayırımını yaklaşık %31-48 oranında azaltmış olup en düşük oran modifiye olmamış protein, en yüksek oran ise YBH tekniği ile modifiye edilmiş protein ilavesi ile sağlanmıştır. Uygulanan modifikasyon sonucu proteinlerde partikül boyutunun azalması ve protein molekülünün açılması sonucu yüzey –SH grubu ve yüzey hidrofobikliğinin artması ve dolayısıyla bu etkilere bağlı olarak yağ tutma kapasitesinin artışı tahinde faz ayırımının azalmasını sağlamıştır. YBH ile modifiye edilen susam proteininin tahinde yağ ayrılmasında diğer yöntemlere göre daha etkin olduğu gözlenmiştir.



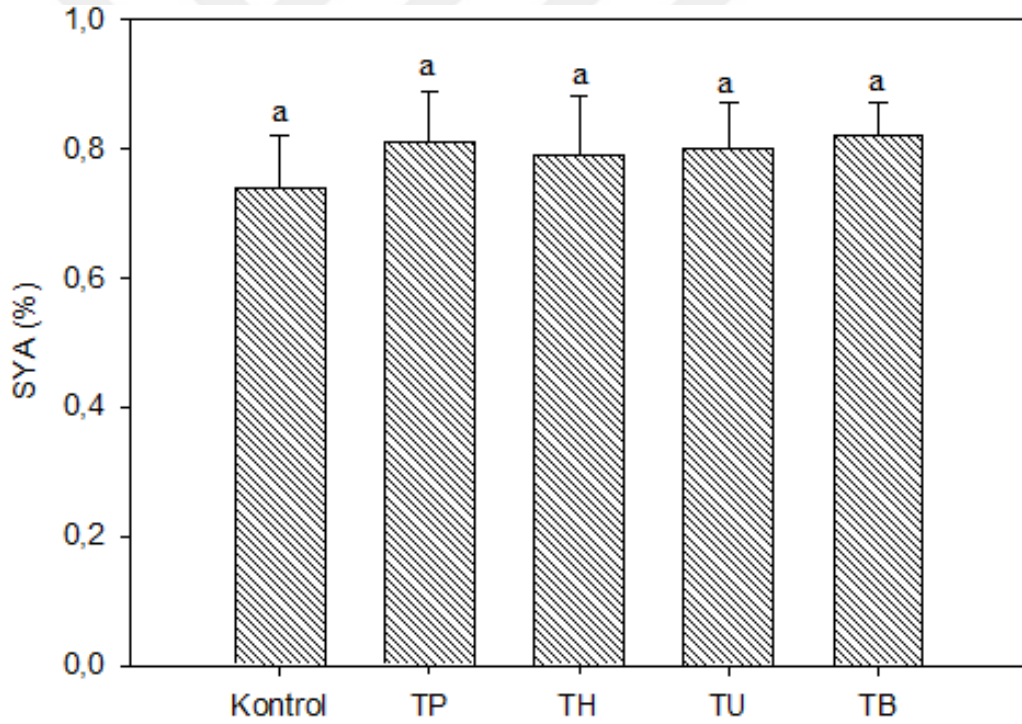
Şekil 4.5 Farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerin ve proteinsiz kontrol tahininin hızlandırılmış yağ ayrılması (%) sonuçları (TP: modifiye edilmemiş susam protein katkılı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile homojenize edilmiş protein katkılı tahin.)

Tahinde faz ayrımı üzerine oldukça az çalışma bulunmakta olup çoğunluğu emülgatör ve benzeri katkıların kullanımına yöneliktir (Al-Mahasneh vd., 2017; Yetkin, 2019). Bu çalışmalarda tahine mono ve di-gliserid, lesitin ilavesinin faz ayrımını iyileştirdiğine yönelik bulgular olsa da tahin üretiminde emülgatör kullanımına izin verilmemektedir. Buna karşılık farklı formlarda susam proteininin tahinde faz ayrımına yönelik etkisinin araştırıldığı iki çalışma bulunmaktadır. Saatchi vd. (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada susam küspesinden ekstrakte edilen susam proteininin maltodektrin ile karıştırılarak tahine ilavesi gerçekleştirilmiş ve sonuç olarak kontrol örneğinde yağ ayrılması %11,02 oranında belirlenirken protein ve protein-maltodektrin karışımı ilavesinin yağ ayrılmasını önemli düzeyde azalttığı (%0,97 ile %8,83 oranında) tespit edilmiştir. Aynı çalışmada tahinde yağ ayrılmasını önleme üzerine protein-maltodektrin karışımının tek başına susam proteini kullanımına kıyasla daha etkili olduğu gözlenmiştir. Bir diğer çalışmada tahinde yağ fazının ayrımının önlenmesinde kontrol grubu olan susam protein izolatına karşılık elektroegirme yöntemiyle üretilen susam proteinleri içeren nanoliflerin daha etkili olduğu belirlenmiştir (Yüzer, 2021). Başdoğan (2016) farklı dalga genliğinde ultrases

uygulanan ve lesitin ilave edilen tahinlerde yağ ayırımı incelemiştir. 50 dalga genliği uygulanan tahin örneğinin kontrol örneği ile benzer özellik gösterdiği, 75 ile 100 dalga genliğinde sonikasyon uygulanan örneklerde ise kontrol ile kıyaslandığında %23 daha az yağ ayırımı meydana geldiği ve yağ ayırımının daha geç olduğu rapor edilmiştir.

#### 4.2.7 Serbest Yağ Asitliği (SYA)

Kontrol ve protein ilave edilmiş tahin örneklerinin serbest yağ asidi sonuçları Şekil 4.6'da verilmiştir. Örneklerde serbest yağ asitliği %0,74 ile %0,82 arasında tespit edilmiştir. Kontrol örneğinin serbest yağ asidi değerleri protein ilaveli tahin örneklerinden daha düşük bulunmuş olmasına rağmen örneklerin serbest yağ asidi değerleri arasında istatistiksel farklılık bulunmamıştır ( $P>0,05$ ).



Şekil 4.6 Farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerin ve protein eklenmemiş kontrol tahininin serbest yağ asitliği (%) değerleri (TP: modifiye edilmemiş susam protein katkı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile homojenize edilmiş protein katkı tahin.)

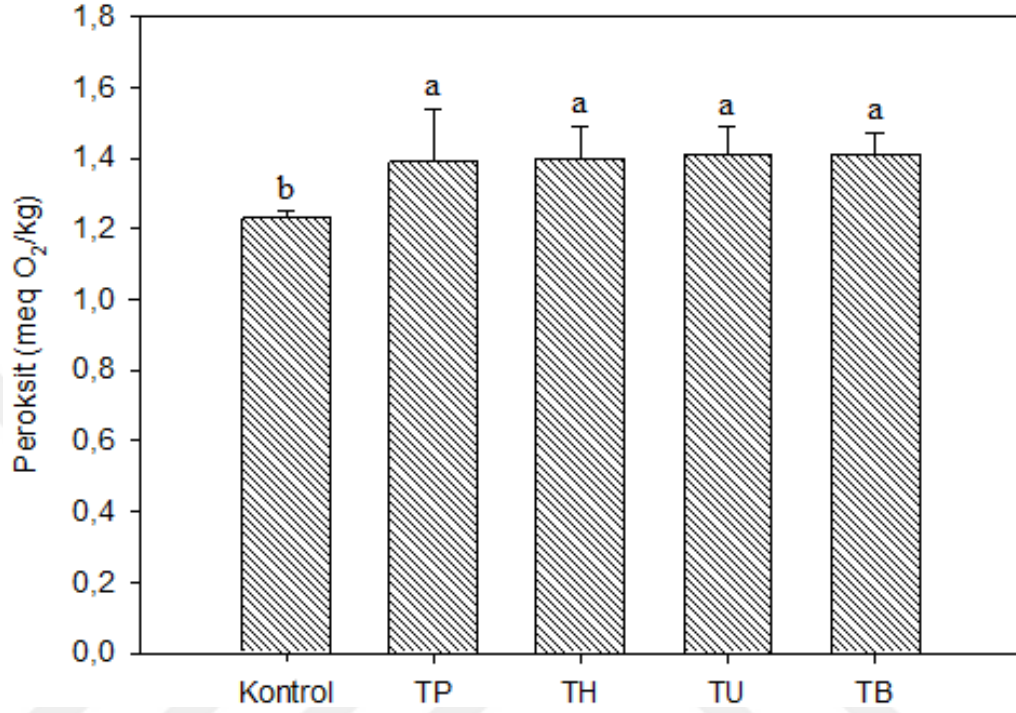
Kontrol örneğinde serbest yağ asidi değerinin düşük olması muhtemelen tahine ilave edilen proteinin yaklaşık %1 civarında yağ içermesinden ve protein eldesi ile modifikasyon amacıyla uygulanan işlemlerden dolayı yağın serbest yağ içeriğinin

artmasından kaynaklı olabilir. Türk Gıda Kodeksi Tahin Tebliği'ne göre tahinde bulunmasına izin verilen maksimum asitlik değeri %2,4'tür (TGK, 2015) ve serbest yağ asitliği açısından tahin örneklerimiz tebliğe uygun bulunmuştur. Literatüre bakıldığında, % serbest yağ asitliği değerlerinin Özcan ve Akgül (1994) farklı işletmelere ait konvansiyonel tahinlerde %0,21-0,95 arasında, Dinçer (2022) konvansiyonel ve organik tahinlerde %0,25-0,44 arasında olduğunu bildirmişlerdir.

#### 4.2.8 Peroksit Değeri

Yağlı tohum bazlı gıda ürünlerinin oksidatif stabilitesi; raf ömürlerinin tüketici tarafından kabul edilebilirliği ve beslenme kalitelerinin belirlenmesi için temel kriterlerdendir. Bu amaçla en yaygın kullanılan testlerden biri peroksit değeri olup, lipit oksidasyonunun ilk aşamalarında oluşan peroksit ve hidroperoksit konsantrasyonunun bir ölçüsüdür ve gıdadaki oksidasyonun ölçümü için en yaygın kullanılan testlerden biridir (Mureşan vd., 2016). Kontrol ve protein ilave edilmiş tahin örneklerinin peroksit değerleri Şekil 4.7'de verilmiştir. Tahin örneklerinin peroksit değerleri 1,23-1,41 meq O<sub>2</sub>/kg arasında tespit edilmiştir. Serbest yağ asitliği değerlerinde gözlendiği gibi en düşük peroksit değeri kontrol örneğinde en yüksek değer ise modifiye protein ilaveli tahin örneklerinde tespit edilmiştir. Tahine ilave edilen proteinde yağın tam olarak uzaklaştırılmaması ve uygulanan ön işlemlerden dolayı peroksit değerinin yüksek olması muhtemelen tahinin peroksit değerinin artmasına neden olmuştur. Türk Gıda Kodeksi Tahin Tebliği'nde peroksit değeri ile ilgili bilgi bulunmamakla birlikte yürürlükten kaldırılan tahin standardına (TS 2589) göre izin verilen en yüksek değer 5 meq O<sub>2</sub>/kg'dır. Elde ettiğimiz sonuçlar tahin standardına uygundur. Buna karşılık peroksit sonuçlarımız Dinçer (2022) tarafından konvansiyonel ve organik tahinde elde edilen (sırası ile 0,9-0,92 meq O<sub>2</sub>/kg ve 0,69-0,73 meq O<sub>2</sub>/kg) peroksit değerlerinden yüksektir. Diğer taraftan Özcan vd. (1994) tarafından farklı işletmelere ait konvansiyonel tahin örneklerinden tespit edilen peroksit değerlerinden (1,63-2,99 meq O<sub>2</sub>/kg arasında) düşüktür. Özcan (1993) tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada peroksit sayısının susam yağında 1,93-3,62 meq O<sub>2</sub>/kg, tahinden elde edilen yağda ise 1,63-2,99 meq O<sub>2</sub>/kg arasında olduğu tespit edilmiştir. Tahinden ekstrakte edilen yağın peroksit sayısının genelde düşük çıkmasına susam yağında oksidatif stabiliteye yardımcı olan sesamolin, sesamin ve

sesamol antioksidanlarının etkisi olabileceği düşünülmektedir. Bu bileşenlerin tahin helvasında oksidatif stabiliteyi artırarak acılaşmayı engelleyebildiği düşünülmektedir (Ünsal ve Nas, 1995).



Şekil 4.7 Farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerin ve protein eklenmemiş kontrol tahininin peroksit değerleri (meq O<sub>2</sub>/kg) (TP: modifiye edilmemiş susam protein katkılı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile homojenize edilmiş protein katkılı tahin.)

#### 4.2.9 Renk Özellikleri

Tahinin rengi; ana bileşimden ve karoten, yeşil pigmentler, klorofil gibi renk üzerinde etkileri bulunan ve kavurma ile artan renklendiricilerin varlığından etkilenmektedir. Bu nedenle bir gıdanın genel görünümü, ışık saçılması ve absorpsiyonun bir kombinasyonu ile belirlenmektedir (Çiftçi vd., 2008). Tahin örneklerinin renk özellikleri ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  ve  $\Delta E$ ) Tablo 4.3'te verilmiştir. Kontrol örneğinin  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerleri sırasıyla 58,53; 4,16 ve 22,87 olarak ölçülmüştür. Tahine protein ilave edilmesi ile  $L^*$  değerinin azaldığı görülmüştür ( $P < 0,05$ ). Bununla birlikte  $a^*$  değerinde artma,  $b^*$  değerinde ise kısmi bir azalma eğilimi gözlenmiştir.  $L^*$  değerinde en fazla azalma YBH ile modifiye edilen protein ilaveli tahin örneğinde tespit edilmiş olup  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerinde ise en fazla değişim modifiye edilmemiş protein ilaveli örnekte

gözlenmiştir. Modifiye edilmemiş protein ilaveli tahin örneğinde  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerinde meydana gelen değişim beklendiği üzere  $\Delta E$  değerine de yansımış olup en yüksek  $\Delta E$  değeri TP örneğinde tespit edilmiştir. Bu durum modifikasyon ile birlikte protein izolatının kırmızılığında açılma meydana gelmesi ve sarı görünüşün azalmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Toplam renk değişimi bakımından TP örneğini YHB ile modifiye edilmiş protein ilaveli TB örneği takip etmiş olup US ve YBH ile modifiye edilmiş tahin örnekleri ile karşılaştırıldığında sarı görünüşün daha düşük olduğu gözlenmiştir. Buna karşılık TU ve TH örnekleri arasında  $\Delta E$  değeri bakımından önemli bir fark bulunmamıştır ( $P>0,05$ ). Cserhalmi vd. (2006) tarafından  $\Delta E$  değerlerine göre toplam renk farklılığı fark edilmeyen (0-0,5), biraz fark edilen (0,5-1,5), fark edilen (1,5-3) ve kolayca fark edilen (3-6) şeklinde sınıflandırılmıştır. Bununla birlikte genel olarak  $\Delta E=3$  değerinin altında ise insanlar tarafından gözle görülür fark algılanamamaktadır. Bu sınıflandırmaya göre US ile modifiye edilen protein ilaveli örnek hariç diğer tahin örneklerinde fark edilebilir düzeyde renk değişimi söz konusudur. TU örneğinde ise renk değişimi biraz fark edilebilir sınıfta yer almaktadır. Ancak bütün protein ilaveli örneklerde renk değişimi insanlar tarafından algılanabilecek düzeyde bulunmamıştır.

Tablo 4.3 Farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerin ve protein eklenmemiş kontrol tahininin renk özellikleri

Örnek	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E$
<b>Kontrol</b>	58,53±0,21 <sup>a</sup>	4,16±0,05 <sup>c</sup>	22,87±0,01 <sup>a</sup>	-
<b>TP</b>	57,54±0,11 <sup>b</sup>	5,37±0,04 <sup>a</sup>	20,28±0,01 <sup>c</sup>	2,93±0,05 <sup>a</sup>
<b>TH</b>	56,94±0,11 <sup>d</sup>	4,54±0,02 <sup>bc</sup>	22,62±0,03 <sup>a</sup>	1,64±0,11 <sup>c</sup>
<b>TU</b>	57,34±0,23 <sup>bc</sup>	4,31±0,01 <sup>bc</sup>	22,71±0,07 <sup>a</sup>	1,21±0,23 <sup>c</sup>
<b>TB</b>	57,07±0,09 <sup>cd</sup>	4,72±0,6 <sup>b</sup>	21,16±0,12 <sup>b</sup>	2,25±0,18 <sup>b</sup>

Sütunlarda yer alan farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları ifade etmektedir ( $P<0,05$ ). TP: modifiye edilmemiş susam protein katkılı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin.

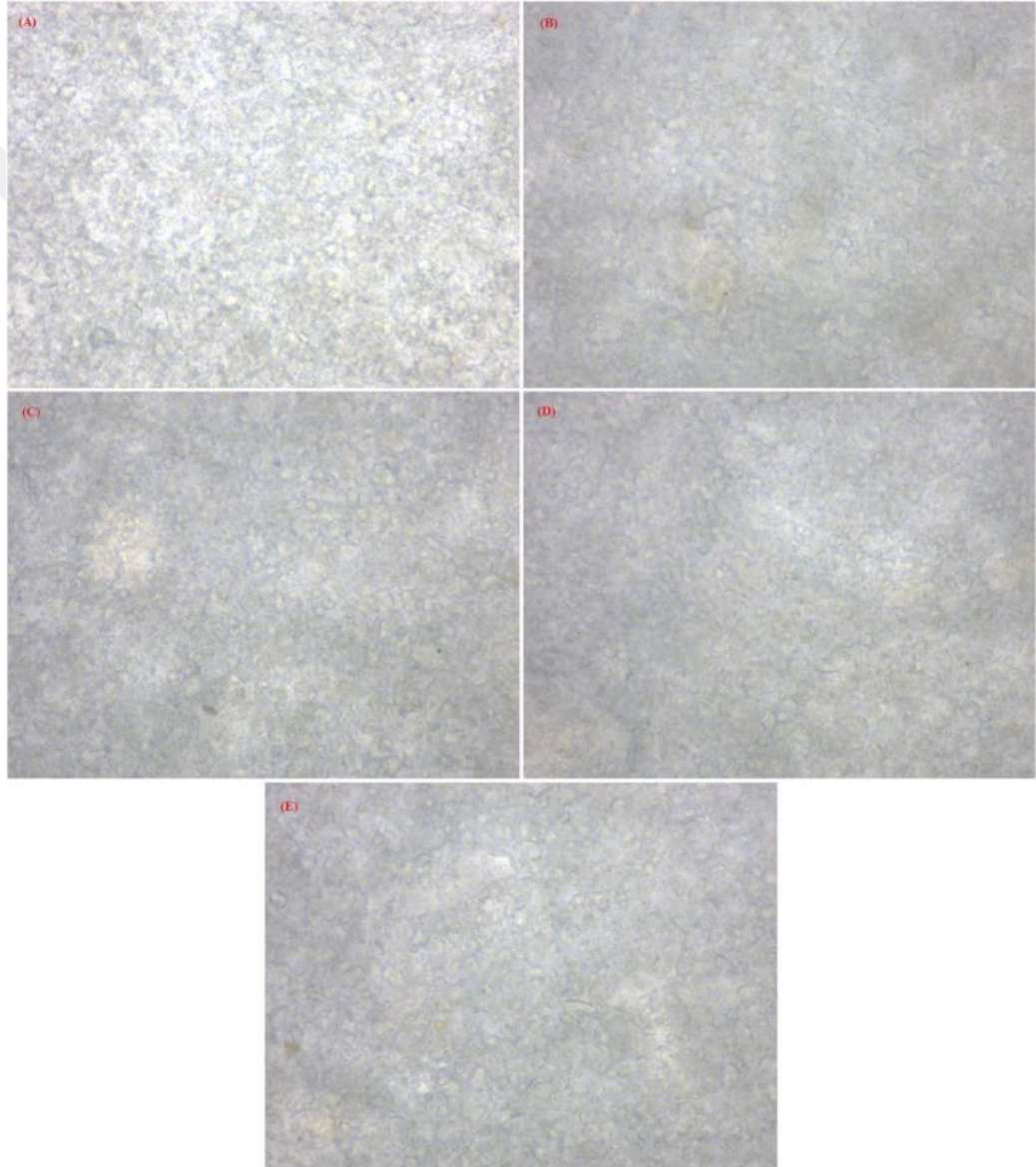
Tahin ile ilgili literatürde yer alan çalışmalarda; Başdoğan (2016) tahine uyguladığı ultrases işlemi sonrası tahin örneklerinin  $L^*$ ,  $a^*$ , ve  $b^*$  değerlerini sırasıyla 46,29-47,55; 11,81-12,99 ve 30,07-32,47 arasında tespit etmiş ve numuneler arasındaki renk farklılığının düşük olduğunu, sadece 75 dalga genliğinde 5 dakika ve 100 dalga genlik 3 ve 5 dakika ultrases uygulanan numunelerde duyu analizler sırasında da

gözlemlendiği gibi farklılıklar meydana geldiğini bildirmiştir. Jin vd., (2022a) tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada tahin örneklerinin  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerini sırasıyla 46,98-47,96; 7,3-7,55 ve 16,48-16,75 arasında tespit etmişlerdir. Genel olarak çalışmamızda kullandığımız tahin örneğinin renk değerleri literatürde farklılık göstermekte olup tahin eldesinde uygulanan ön işlemlerin, partikül büyüklüğünün ve yoğunluğunun renk değerlerinin farklı olmasında rol oynadığı düşünülmektedir. Özellikle tahin eldesi sırasında uygulanan kavurma işleminin sıcaklık ve süre farklılığı renk üzerinde önemli bir etkidir. Kavurma sırasında sıcaklık arttıkça Maillard reaksiyonu daha yoğun hale gelmekte ve karbonillerin ve aminlerin yoğunlaşması daha kahverengi renkli, yüksek molekül ağırlıklı bileşikler oluşturmakta, bu da melanoidin konsantrasyonunun artmasına ve rengin koyulaşmasına neden olmaktadır (Jin vd., 2022b).

#### **4.2.10 Mikroyapının Belirlenmesi**

Farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerin, yağ tutma kapasitesi üzerine iyileştirici etkisini daha iyi anlamak için mikroyapıdaki değişimler incelenmiştir. Farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerin ve kontrol tahininin ışık mikroskopunda 40x büyütülmüş görüntüleri Şekil 4.8'de verilmiştir. Kontrol örneği görüntüsü incelendiğinde heterojen bir görünümün olduğu ve bazı bölgelerde topaklanmaların olduğu görülmektedir. Benzer bulgu Saatchi vd. (2022) tarafından elde edilmiş olup protein veya konjugat içermeyen tahinin görüntüsünde topakların bulunduğu gözlenmiştir. Beklendiği üzere protein ilavesi ile tahin örneklerinin kontrol örneğine kıyasla daha yoğun ve kompakt bir görüntü oluşturduğu ve daha az topak bulunduğu gözlenmiştir. Bu durum kontrol örneğinde yağ damlacıklarının büyük olması ve ilave edilen proteinle birlikte damlacıkların boyutunun küçülmesi ile ilişkilidir. Bununla birlikte protein ilaveli tahin örnekleri arasında yoğunluk açısından dikkate değer farklılık bulunmamaktadır. Ancak modifiye edilmemiş protein ilaveli tahin örneğinde partiküllerin daha büyük olduğu görülmektedir. Ayrıca modifiye protein içeren tahin örneklerinin partikül boyut dağılımı açısından modifiye edilmemiş protein ilaveli tahin ve kontrol örneğine kıyasla daha homojen görünüme sahip olduğu belirlenmiştir. Saatchi vd. (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada tahine protein veya konjugat ilavesi ile birlikte

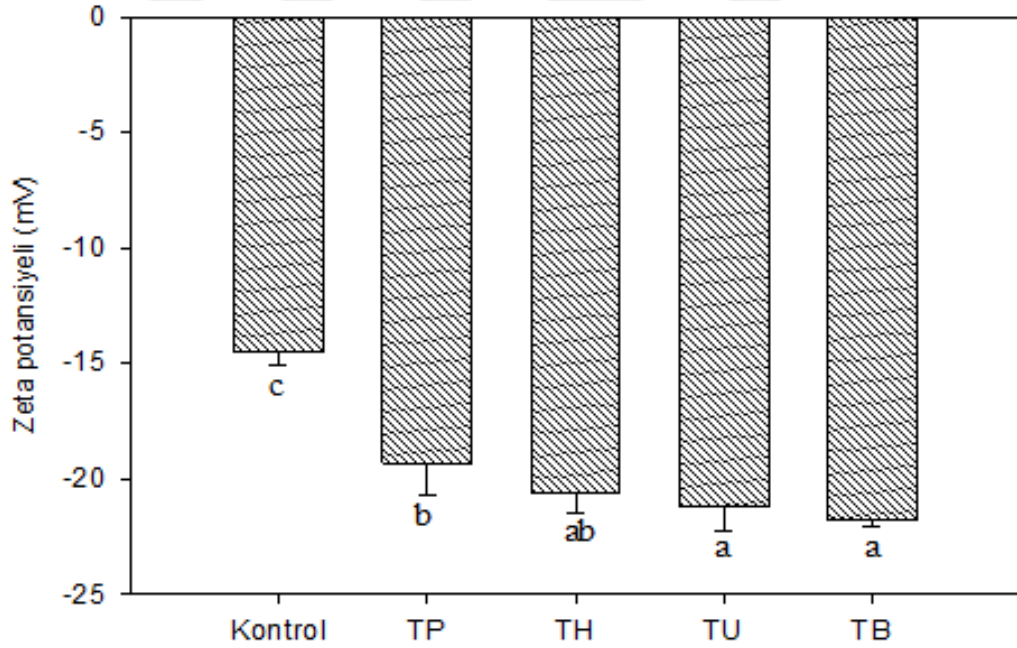
yapının daha sıkı olduğu ve ayrıca artan protein veya konjugat konsantrasyonu ile birlikte topaklaşmanın azalmaya başladığı gözlenmiştir. Aynı çalışmada toplamda en iyi tahin durumu (topaklanma olmadan) 30 g/kg susam proteini ilave edilmiş örnekte tespit edilmiştir. Tahinin bu yapısı aynı zamanda arayüzeydeki konjugatın varlığının daha yüksek konsantrasyonda damlacıkların birleşmesini önlediğini de ortaya koymuştur. Dolayısıyla, daha küçük boyutta korunan yağ damlacığının bozulmamış doğası ve bu benzersiz mikro yapı, tahinin viskoelastik özelliklerinden sorumludur.



Şekil 4.8 Farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerin ve protein eklenmemiş kontrol tahininin mikroskop (40x) görüntüleri (A: kontrol, B: modifiye edilmemiş susam protein katkı tahin, C: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkı tahin, D: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkı tahin, E: yüksek hidrostatik basınç ile modifiye edilmiş protein katkı tahin)

#### 4.2.11 Zeta Potansiyeli

Tahin örneklerinin zeta potansiyel değerleri Şekil 4.9’da verilmiş olup -14,62 ile -21,78 mV arasında belirlenmiştir. En düşük zeta potansiyeli değeri kontrol örneğinde ölçülmüştür. Susam protein ilavesi tahin örneklerinin zeta potansiyel değerlerinin önemli düzeyde artmasına yol açmıştır ( $P<0,05$ ). Dahası modifiye protein ilave edilen örneklerin zeta potansiyel değerleri modifiye edilmemiş protein ilave edilen tahin örneklerinden daha yüksek bulunmuştur. Modifikasyon işlemleri ile birlikte susam protein izolatının zeta potansiyel değerlerinde artış olduğu protein modifikasyon çalışmalarında açıkça ortaya konulmuş (Baskıncı ve Gül, 2023; Gül vd., 2023) olup modifiye proteinin yüksek zeta potansiyeline sahip olması tahin örneklerinin de zeta potansiyeli değerlerinin artmasına neden olmuştur. Gıda sistemlerinde koloidal stabilite ile zeta potansiyeli arasında ilişki bulunmakta ve koloidal stabilitenin belirlenmesinde kullanılabilir.



Şekil 4.9 Farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerin ve protein eklenmemiş kontrol tahininin zeta potansiyel (mV) değerleri (TP: modifiye edilmemiş susam protein katkılı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile homojenize edilmiş protein katkılı tahin.)

Bhattacharjee (2016) koloidal stabilitenin kararlılık durumunu zeta potansiyeli değerlerine göre belirlemiş olup koloidal stabilitenin  $\pm 0-10$  mV arasında oldukça

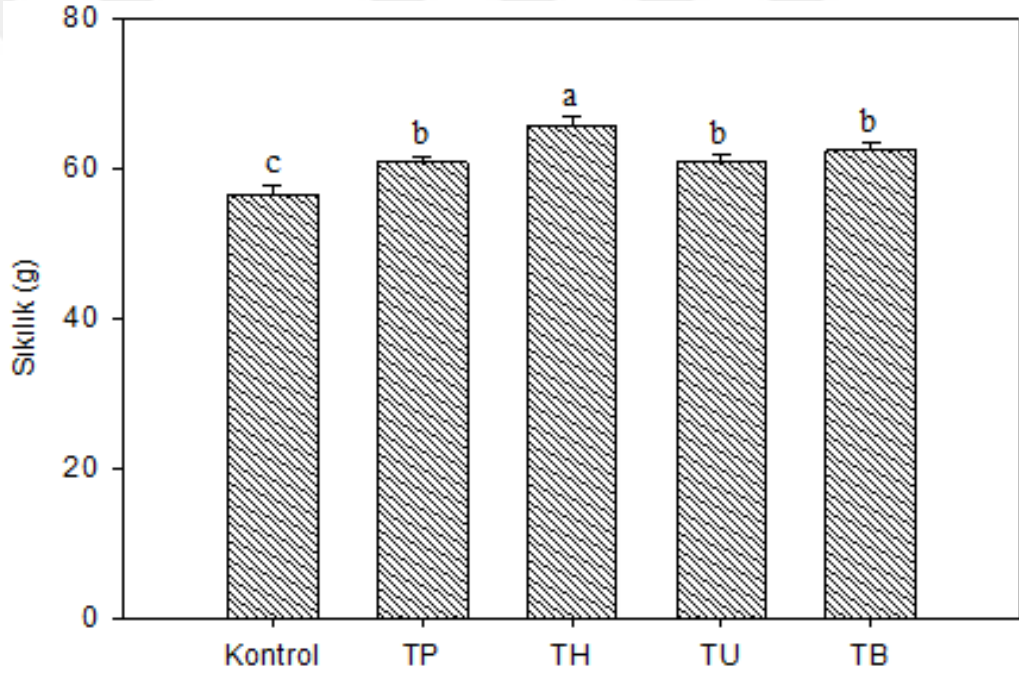
kararsız,  $\pm 10-20$  mV arasında nispeten kararlı,  $\pm 20-30$  mV arasında orta derecede kararlı ve  $> \pm 30$  mV yüksek düzeyde kararlı olarak sınıflandırmaktadır. Bu sınıflandırmaya göre protein ilave edilmemiş tahin örneği nispeten kararlı stabilite sergilerken modifiye protein katkılı tahin örnekleri orta derecede kararlı stabilite sergilemektedir. Çalışma sonuçlarımıza benzer şekilde Yüzer (2021) kontrol tahin örneğinin zeta değerini  $-17,70$  mV ile nispeten kararlı sınıfta değerlendirmektedir. Aynı çalışmada susam proteini ve elektroğirme yöntemiyle üretilen susam proteinleri içeren nanolif ilave edilen tahinlerin zeta potansiyeli değerlerinde kısmi bir artış olduğu ancak kontrol grubuna kıyasla bu artışın önemli olmadığı ortaya konmuştur.

#### **4.2.12 Tekstür Profil Analizi**

##### **4.2.12.1 Sıklık**

Farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerle zenginleştirilmiş tahinlerin ve kontrol tahininin sıklık (g) değerleri Şekil 4.10'da verilmiştir. Herhangi bir protein ilavesi yapılmayan tahinlerde sıklık değeri  $56,63$  g olarak tespit edilirken, protein ilave edilmiş tahinlerde sıklık değerinin  $60,93$  g ile  $65,55$  g arasında değiştiği belirlenmiştir. Tahine yapılan susam proteini ilavesi ile tahinlerde sıklık değeri istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde artmıştır ( $P<0,05$ ). Bu durum ilave edilen proteinlerin tahinde oluşturdukları protein-protein, protein-karbonhidrat ve/veya protein-yağ interaksyonları ile açıklanabilir. Öte yandan, protein ilave edilmiş tahinlerde modifiye edilmemiş, US, YBH ve YHB ile modifiye edilmiş protein ilavesi yapılan tahinlerin sıklık değerleri sırasıyla  $60,93$  g;  $61,05$  g;  $65,55$  g ve  $62,42$  g olarak tespit edilmiştir. Bu örnekler arasında YBH ile modifiye edilmiş protein ilave edilen tahinlerin sıklık değerinin diğer protein ilaveli tahinlere kıyasla istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde daha yüksek değere sahip olduğu görülmektedir ( $P<0,05$ ). Diğer örneklerde modifiye edilmemiş protein ilaveli tahinlere kıyasla anlamlı bir farklılık gözlenmezken ( $P>0,05$ ) YBH ile modifiye edilen proteinlerde partikül yüzey alanının ve açığa çıkan  $-SH$  grubu ile yüzey hidrofobikliğin diğer yöntemler ile modifiye edilen proteinlere göre daha fazla artması sonucu artan protein-protein ve protein-yağ interaksyonlarından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Tahin örneklerinde sıklık değerinde meydana gelen bu değişim yağ ayrılması ve reolojik analizler ile uyumlu bulunmuştur.

Öğütçü vd. (2018) tarafından tahinin yağ ayrımını engellemek için emülgatör olarak farklı oranlarda ayçiçeği mumu ve balmumu ilave edildiği bir çalışmada tekstürel özellikler incelendiğinde, %3 ayçiçeği mumu ile hazırlanan tahinin, %1 ayçiçeği mumu ve %5 bal mumu ile hazırlanan tahinden daha sıkı ve yapışkan yapı sergilediği ortaya konmuştur. Ayrıca örneklerin tekstürel özelliklerinin depolama sıcaklıklarından önemli ölçüde etkilendiğini rapor etmişlerdir. Tahin örneklerinde tekstürel parametrelerin (sıklık, yapışkanlık gibi) daha yüksek olması içermiş oldukları protein ve lifler gibi çok fazla makromoleküllerle ilişkilidir (Bageri vd., 2020). Ayrıca Maillard reaksiyonu ile birlikte meydana gelen makromoleküllerin tekstürel değerlerin yüksek olmasında rol oynamaktadır (Al-Wraikat vd., 2021).

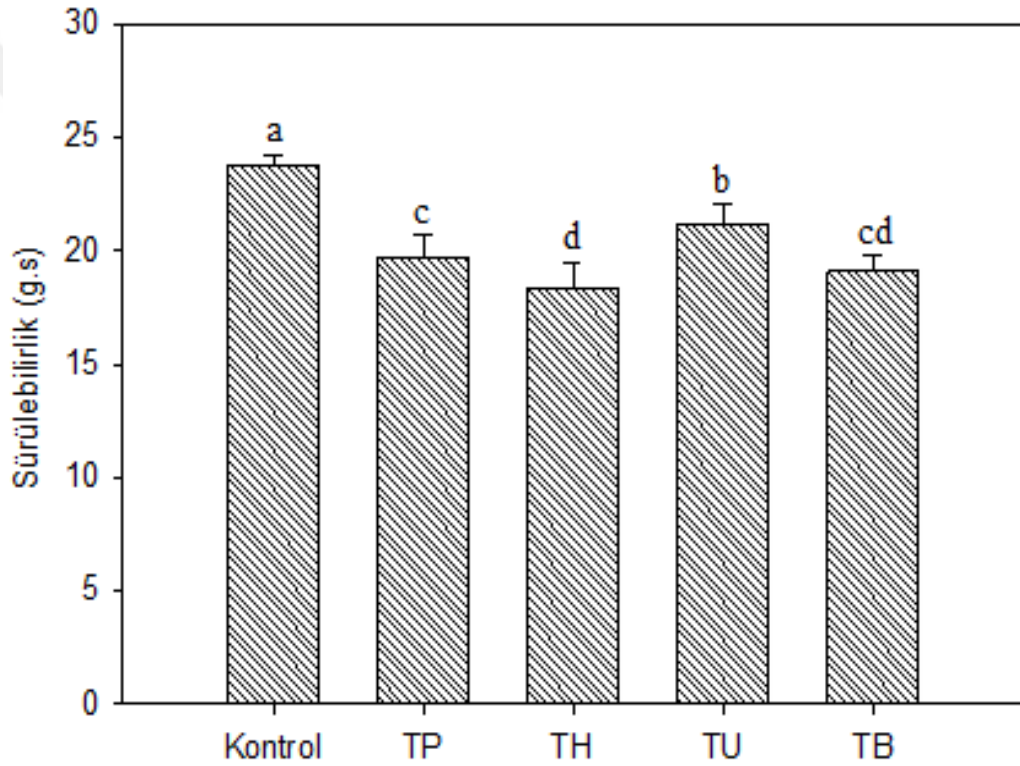


Şekil 4.10 Farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerle zenginleştirilmiş tahinlerin ve protein eklenmemiş kontrol tahininin sıklık (g) değerleri (TP: modifiye edilmemiş susam protein katkılı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile homojenize edilmiş protein katkılı tahin.)

#### 4.2.12.2 Sürülebilirlik

Tahin örneklerinin sürülebilirlik değerleri kayma gerilimi belirlenerek değerlendirilmiştir. Kayma gerilimi (g.s) yarı katı gıdalarda sürülebilirlik kolaylığının ölçüsü olarak kullanılmakta olup gıda materyallerinin kesme işlemini gerçekleştirmek için gereken toplam kuvvet olarak tanımlanmaktadır (Basu ve Shivhare, 2010).

Herhangi bir protein ilavesi yapılmayan tahinlerde kesme gerilimi değeri 23,79 g.s olarak tespit edilirken, sırasıyla modifiye edilmemiş, US, YBH ve YHB ile modifiye protein içeren tahinlerin kesme gerilimi değerleri sırasıyla 19,75; 21,21; 18,39 ve 19,10 g.s olarak belirlenmiştir. Protein ilavesi tahinlerin kesme gerilimi değerinin anlamlı bir biçimde azalmasına neden olmuş ( $P<0,05$ ) ve bu da örneklerin daha sürülebilir form aldığını göstermektedir. En düşük kesme gerilimi YHB ile modifiye susam proteini içeren tahin örneğinde tespit edilmiş olup diğer modifiye protein izolatu içeren tahin örneklerinin kayma gerilimi değerlerinde önemli bir farklılık tespit edilmemiştir ( $P>0,05$ ).



Şekil 4.11 Farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerin ve protein eklenmemiş kontrol tahininin sürülebilirlik (g.s) değerleri (TP: modifiye edilmemiş susam protein katkı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile homojenize edilmiş protein katkı tahin.)

Modifikasyon işlemi sırasında meydana gelen daha yüksek partikül alanı, protein çözünürlüğü ve serbest -SH grubuna sahip modifiye edilmiş protein izolatlarının tahine ilave edilmesiyle protein konsantrasyonunun yanı sıra protein-protein ve protein-yağ etkileşimlerinin artması kesme geriliminin azalmasına rol oynamış olabilir (Baskinci ve Gül, 2023; Gül vd., 2023). Öğütçü vd. (2018) tarafından susam

ezmesine emülgatör olarak farklı oranlarda ayçiçeği mumu ve balmumu ilave edildiği bir çalışmada sürülebilirlik açısından %1 ve %3 bal mumu katkılı örneklerin sıvı halde, %5 balmumu ve %1 ile %3 ayçiçek mumu katkılı susam ezmesi örneklerin de sürülebilir (yarı katı) formda olduğu gözlenmiştir.

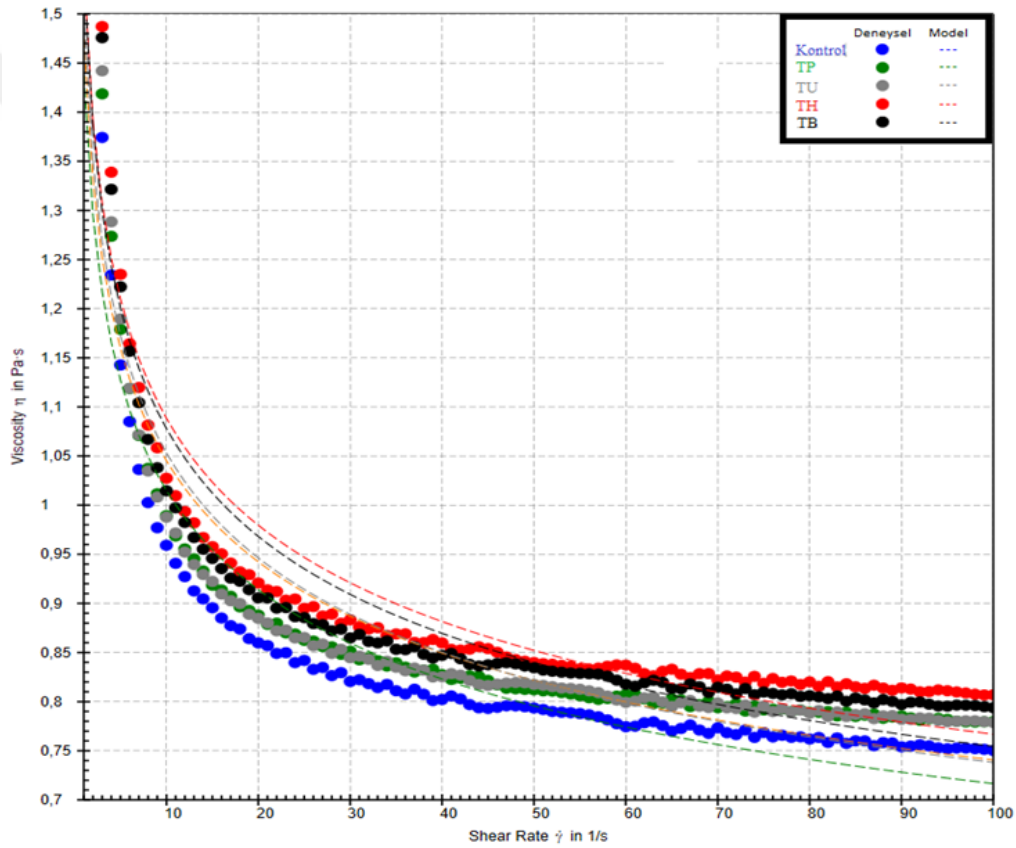
#### **4.2.13 Reolojik Özellikleri**

##### **4.2.13.1 Akış özellikleri**

Tahin yarı katı bir sıvı olarak tanımlanmakta olup tahinin akış özelliklerinin belirlenmesi amacıyla reolojik analiz gerçekleştirilmiş ve örneklerin akış özellikleri Şekil 4.12'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, bütün örneklerin görünür viskozitesi, kesme hızının artmasıyla birlikte sürekli olarak azalmış olup bütün örnekler shear thinning özellik sergilemiştir. Tahinin akış özelliği ile ilgili benzer sonuç Saatchi vd. (2022), Jin vd. (2022b) tarafından da elde edilmiştir. Örneğin Çiftçi, vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada farklı partikül boyutlarında üretilen tahinin test edilen tüm koşullarda shear thinning davranışı sergilediği ortaya konmuştur. Kayma hızının artması ile birlikte viskozitedeki azalma, test edilen sistemi oluşturan moleküllerin artan hizalanmasıyla ilişkilendirilmektedir (Rao, 2014). Kayma gerilimi sonucunda tahinin protein, yağ ve polisakkarit gibi temel bileşenlerinin oluşturduğu orijinal ağ yapısı bozularak görünür viskozitede azalma meydana gelmektedir (Hou vd., 2023).

Örneklerin görünür viskoziteleri dikkate alındığında örnekler arasında farklılık gözlenmiş olup hemen hemen bütün kayma geriliminde bu farklılıkların mevcut olduğu tespit edilmiştir. Kontrol örneği en düşük viskoziteye sahipken tahine ilave edilen protein örneklerin viskozite değerlerinde artışa neden olmuştur. Bu durum muhtemelen artan protein oranı ve kurumadde ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte ilave edilen proteinin modifiye edilmesi de viskozite değerinin artmasında önemli rol oynamıştır. En yüksek viskozite YBH ile modifiye protein katkılı tahinde gözlenirken, bu örneği YHB ve US ile modifiye edilmiş protein katkılı örnek takip etmiştir. Modifiye edilmemiş protein katkılı ve US ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin örneklerinin viskozite değerleri ise benzer bulunmuştur. Modifiye

katkılı tahin örneklerinde tespit edilen yüksek viskozite, muhtemelen modifikasyonla birlikte proteinin artan çözünürlüğü ve yüzey alanına bağlı olarak artan arayüzey özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Baskıncı ve Gül, 2023; Gül vd., 2023). Ayrıca modifiye protein ilaveli tahin örneklerinde viskozitenin artması modifikasyon işlemi ile birlikte susam proteininin emülsifiye edici ve yağ bağlama özelliklerindeki iyileşme ile ilişkili olup tahinden yağ ayrılmasını önlemede de önemli rol oynamıştır. Ereifej vd. (2005) yağ fazının viskozitesindeki artışın tahin ve tahin helvasında yağ ayrışmasını engelleyen sorumlu mekanizma olabileceğini bildirmişlerdir. Abu-Jdayil (2003) öğütülmüş susamda benzer tiksotropik davranışı bildirmiştir.



Şekil 4.12 Farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerin ve protein eklenmemiş kontrol tahininin viskozite grafikleri ve Ostwald de Waele modelinden elde edilen teorik sonuçlar (TP: modifiye edilmemiş susam protein katkı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile homojenize edilmiş protein katkı tahin.)

Her akışkan farklı bir akış özelliği göstermekte ve buna bağlı olarak literatürde akış karakteristiklerinin belirli bazı sınıflandırmaları yer almaktadır. Üzerine uygulanan kayma hızından ya da kayma geriliminden bağımsız olarak sabit viskoziteye sahip

akışkanlar Newtonian akışkan olarak sınıflandırılmakta, öte yandan eğer bir akışkan kendisine uygulanan kayma hızı ya da kayma gerilimine bağlı olarak değişken bir viskoziteye sahipse bu akışkanlar ise non-Newtonian olarak tanımlanmaktadırlar. Non-Newtonian akışkanlar farklı birçok alt fraksiyona ayrılrsa da bu çalışma kapsamında üç farklı modelle tahinlerin akış karakteristiği belirlenmiştir. Bunlardan birincisi ve farklı akışkanlar için en yaygın kullanılanı Ostwald de Waele modelidir. Bu model, artan kayma hızı altında viskozitesi azalan sıvıları tanımlamakta kullanılmaktadır. Yapılan ölçümlerde viskozitenin artan kayma hızı ile azaldığı net şekilde görülmektedir. İlk bakışta shear-thinning akışkanlara benzeyen grafiklere Ostwald de Waele modeli uygulanmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.12’de ve model katsayıları ise Tablo 4.4’de verilmiştir.

Tablo 4.4 Ostwald de Waele model parametreleri

Örnek	K (Pa.s <sup>n</sup> )	N	R <sup>2</sup>
<b>Kontrol</b>	1,455±0,025 <sup>b</sup>	0,846±0,004 <sup>a</sup>	0,996
<b>TP</b>	1,477±0,003 <sup>b</sup>	0,836±0,020 <sup>a</sup>	0,996
<b>TU</b>	1,527±0,035 <sup>a</sup>	0,847±0,002 <sup>a</sup>	0,994
<b>TH</b>	1,553±0,012 <sup>a</sup>	0,846±0,003 <sup>a</sup>	0,994
<b>TB</b>	1,539±0,002 <sup>a</sup>	0,842±0,003 <sup>a</sup>	0,995

K, kıvam indeksini (Pa.s<sup>n</sup>); n, akış davranış indeksini ifade etmektedir. Sütunlarda yer alan farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları ifade etmektedir (P<0,05). TP: modifiye edilmemiş susam protein katkılı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin.

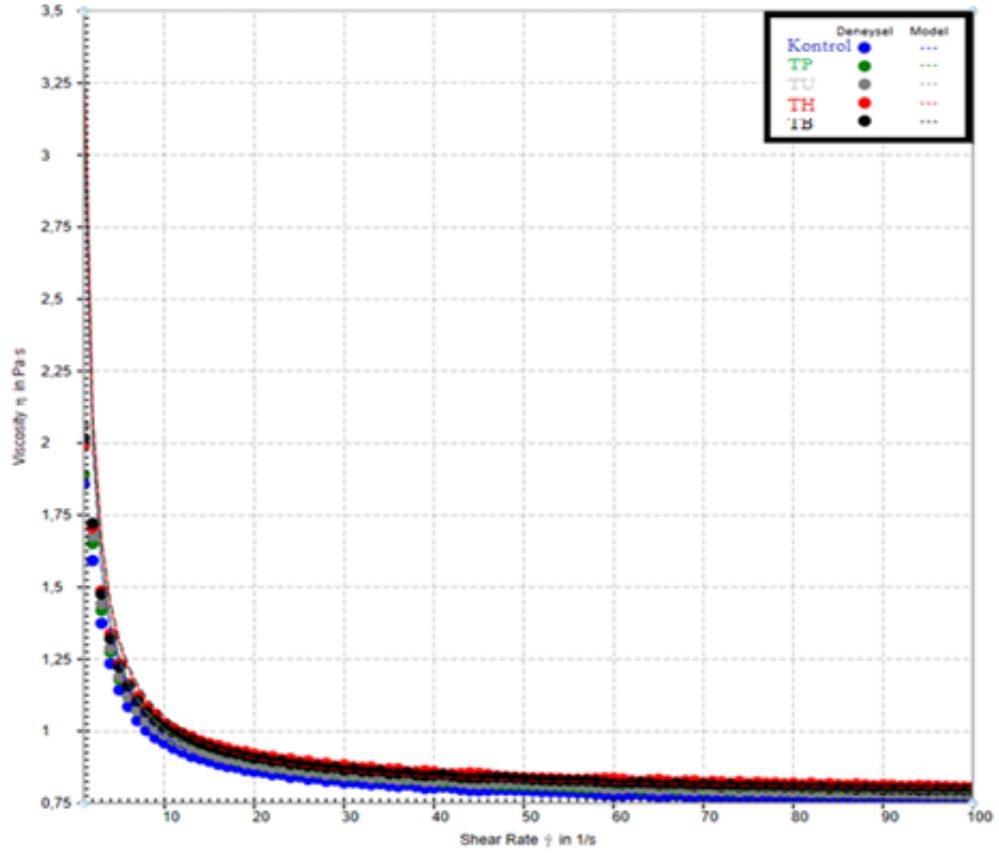
Tahinlerin akış özellikleri Ostwald de Waele modeline R<sup>2</sup>>0,99 düzeyinde uygunluk göstermiştir. Kıvam indeksi değerleri incelendiğinde protein ilave edilmemiş (kontrol) ve protein ilave edilmiş tahinlerin (TP örneği hariç) kıvam indeksinde anlamlı bir farklılık gözlenmiştir (P<0,05). Her ne kadar modifiye edilmemiş protein ilavesinin kıvam indeksi üzerinde bir etkisi tespit edilmemiş olsa da, ilave edilen susam proteinine uygulanan modifikasyonlarla birlikte kıvam indeksinde istatistiksel olarak anlamlı bir artış göze çarpmaktadır. Modifiye edilmemiş protein ilaveli tahinlerde kıvam indeksi 1,477 Pa.s<sup>n</sup> olarak tespit edilmişken bu değer US, YBH ve YHB ile modifiye edilmiş protein ilavesi ile sırasıyla 1,527 Pa.s<sup>n</sup>; 1,553 Pa.s<sup>n</sup> ve 1,539 Pa.s<sup>n</sup> olarak tespit edilmiştir. Bu artış uygulanan modifikasyon yöntemi ile proteinlerin daha stabil emülsiyonlar oluşturabilmesine ve tahinin emülsiyon yapısını oluşturan kesikli

fazlar arasındaki oluşturdıkları muhtemel elektriksel bariyerle ilişkilendirilebilir. En yüksek kıvam indeksi değeri YBH ile modifiye edilmiş proteinlerin ilave edildiği tahin örneğinde tespit edilmiştir. Bu durum tahinlerde yapılan tekstür analizi sonuçları ile de paralellik göstermektedir.

Her ne kadar Ostwald de Waele modelinde elde edilen  $R^2$  değerlerinin yüksekliği modelin isabetliliğini ifade etse de Şekil 4.13'te modelden elde edilen teorik eğrilerle deneysel olarak elde edilen eğriler arasında bir farklılık göze çarpmaktadır. Bu nedenle deneysel verilere Bingham modeli de uygulanmıştır. Bu modele uyan akışkanlar Bingham akışkan olarak sınıflandırılmaktadır. Bu akışkanlar; üzerlerine uygulanan belirli bir kayma stresine karşılık akmaya karşı çok güçlü bir direnç göstermektedir ve bu akışkanlarda akışın başlaması için belirli bir kayma stresinin üzerine çıkılmalıdır. Dolayısıyla düşük kayma streslerinde bu maddeler akışkan özellik göstermezler. Akışın başlaması için geçilmesi gereken eşik kayma stresine akma gerilimi (Pa) adı verilmekte ve bu değer  $\tau_0$  ile gösterilmektedir. Bingham modelinden elde edilen teorik sonuçlar ile deneysel sonuçlar Şekil 4.13'te; model parametreleri ise Tablo 4.5'de verilmiştir.

Şekil 4.12 ve 4.13 bir arada değerlendirildiğinde Bingham model ile elde edilen teorik akış davranışının deneysel verilerle Ostwald de Waele modeline kıyasla daha iyi bir uyumluluk sergilediği görülmektedir. Zaten Tablo 4.5'de görüldüğü üzere Bingham modelinde model uyumluluğu  $R^2 > 0,99$  düzeyinden  $R^2 > 0,999$  düzeyine yükselmiştir.

Bingham modelinden elde edilen akma gerilimi değerleri incelendiğinde YBH ve YHB ile modifiye edilmiş susam proteini ilavesinin tahinlerin akma direncini anlamlı derecede artırdığı görülmektedir.



Şekil 4.13 Farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerin ve protein eklenmemiş kontrol tahininin viskozite grafikleri ve Bingham modelinden elde edilen teorik sonuçlar (TP: modifiye edilmemiş susam protein katkılı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile homojenize edilmiş protein katkılı tahin.)

Tablo 4.5 Bingham modeli parametreleri

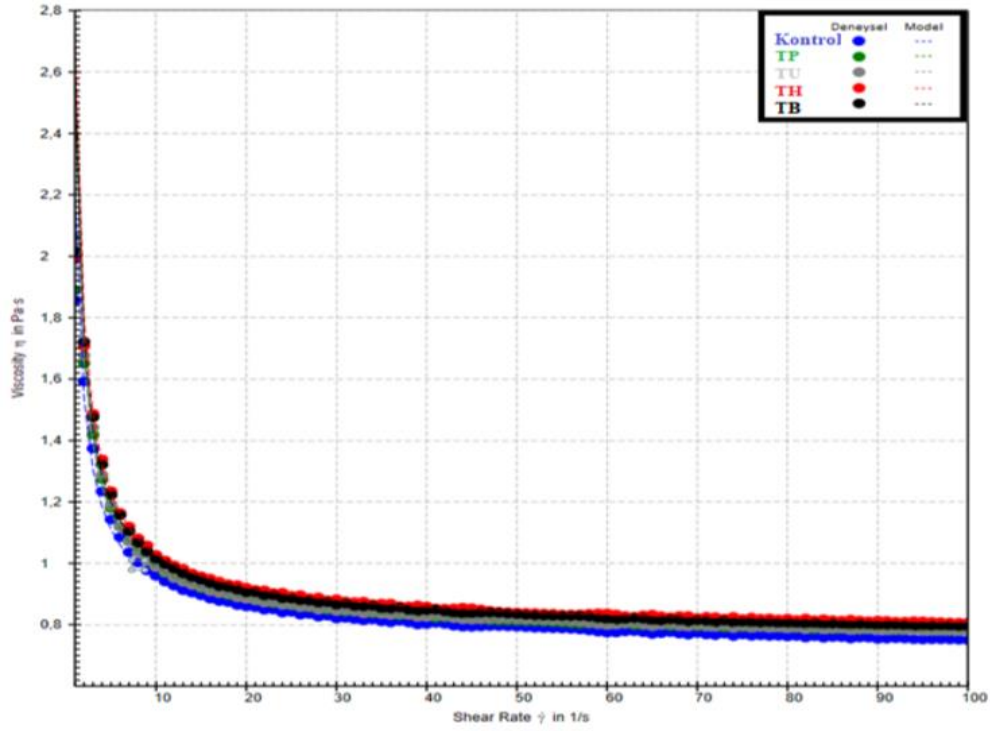
Örnek	$\tau_0$ (Pa)	$\eta_\infty$ (Pa.s)	$R^2$
<b>Kontrol</b>	2,475±0,007 <sup>b</sup>	0,735±0,000 <sup>c</sup>	0,99960
<b>TP</b>	2,475±0,001 <sup>b</sup>	0,764±0,005 <sup>b</sup>	0,99971
<b>TU</b>	2,477±0,009 <sup>b</sup>	0,764±0,005 <sup>b</sup>	0,99986
<b>TH</b>	2,621±0,003 <sup>a</sup>	0,785±0,004 <sup>a</sup>	0,99983
<b>TB</b>	2,642±0,046 <sup>a</sup>	0,778±0,002 <sup>ab</sup>	0,99975

$\tau_0$ , akma gerilimi (Pa);  $\eta_\infty$ , Bingham viskozitesini ifade etmektedir. Sütunlarda yer alan farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları ifade etmektedir ( $P < 0.05$ ). TP: modifiye edilmemiş susam protein katkılı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin.

Akma direncinin yanı sıra Bingham modelinin diğer bir parametresi de Bingham viskozitesidir (Pa.s) ve  $\eta_\infty$  ile gösterilmektedir. Bingham akışkanlar, shear-thinning

akışkanların tersine doğrusal bir kayma hızı – kayma stresi grafiğine sahiptir. Kayma stresine bağlı olarak kayma stresi ile kayma hızı arasındaki bağıntı değişmez. Dolayısıyla çok yüksek kayma hızlarına ulaşıldığında ortaya çıkan kayma stresi, akma direncine kıyasla çok yüksek değerlere ulaşır. Dolayısıyla bu akışkanların kayma hızı – viskozite grafiği sabit bir değere yakınsar ve bu değer Bingham viskozitesi olarak ifade edilir. Başka bir ifadeyle akışkanın sonsuz kayma hızında ulaşacağı viskozite değeri Bingham viskozitesidir. Tablo 4.5'te yer alan Bingham viskoziteleri incelendiğinde susam proteini ilavesinin tahinlerde Bingham viskozitesini anlamlı bir şekilde artırdığı görülmektedir. Protein ilavesi yapılmayan tahin örneğinde Bingham viskozitesi 0,735 Pa.s olarak hesaplanırken, bu değer protein ilavesiyle birlikte 0,764 Pa.s değerine ulaşmıştır. Ayrıca uygulanan modifikasyon yönteminin de Bingham viskozitesini anlamlı bir şekilde değiştirdiği belirlenmiştir. Her ne kadar US ile modifiye edilmiş protein ilaveli tahinlerde Bingham viskozitesi tıpkı modifiye edilmemiş protein ilaveli tahinlerdeki gibi 0,764 Pa.s olarak belirlense de, diğer yöntemler (YBH ve YHB) ile modifiye edilmiş protein ilaveli tahinlerde bu değer anlamlı bir artış sergileyerek sırasıyla 0,785 Pa.s ve 0,778 Pa.s olarak hesaplanmıştır.

İçerisinde protein gibi elektrostatik etkileşimlere girmeye meyilli bir materyal bulunan akışkanlar pseudoplastik özellik göstermeye meyillidir. Bu akış tipinde Newtonian ve Bingham akışkanların aksine, kayma hızı – kayma stresi doğrusal değildir ve artan kayma hızlarında kayma stresi değeri sabit bir sayıya yakınsamaktadır. Bu nedenle protein ilavesinin tahinler üzerindeki etkisini daha doğru bir şekilde açıklayabilmek adına üçüncü bir model olan Herschel-Barkley modeli de deneysel verilere uygulanmıştır. Bu modele uyan akışkanlarda belirli bir kayma stresine maruz kalmadıkları takdirde akış sergilemezler. Ancak Bingham akışkanların aksine, Harschel-Barkley tip akışkanlarda artan kayma hızında, kayma stresi doğrusal olarak artmaz ve sabit bir değere yakınsar. Bunun nedeni yapıda bulunan ve yapının viskozitesini artırıcı etki gösteren ancak yüksek kayma hızlarına karşı kısıtlı dirence sahip etkileşimlerin bulunmasıdır ve proteinler sahip oldukları amfifilik karakterleri sayesinde bu tarz etkileşimlerde bulunmaya meyilli makromoleküldür. Harschel-Barkley modelinden elde edilen teorik viskozite eğrisi ve deneysel veriler Şekil 4.14'ta, model parametreleri ise Tablo 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.14 Farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerin ve protein eklenmemiş kontrol tahininin viskozite grafikleri ve Herschel-Barkley modelinden elde edilen teorik sonuçlar (TP: modifiye edilmemiş susam protein katkılı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile homojenize edilmiş protein katkılı tahin.)

Tablo 4.6 Herschel-Barkley modeli parametreleri

Örnek	$\tau_0$ (Pa)	K (Pa.s <sup>n</sup> )	n	R <sup>2</sup>
<b>Kontrol</b>	1,308±0,009 <sup>c</sup>	0,946±0,021	0,962±0,009	0,99996
<b>TP</b>	1,638±0,014 <sup>b</sup>	0,950±0,094	0,965±0,006	0,99995
<b>TU</b>	1,663±0,013 <sup>b</sup>	0,904±0,016	0,967±0,003	0,99996
<b>TH</b>	1,838±0,009 <sup>ab</sup>	0,905±0,007	0,967±0,004	0,99996
<b>TB</b>	1,759±0,016 <sup>a</sup>	0,910±0,019	0,964±0,001	0,99996

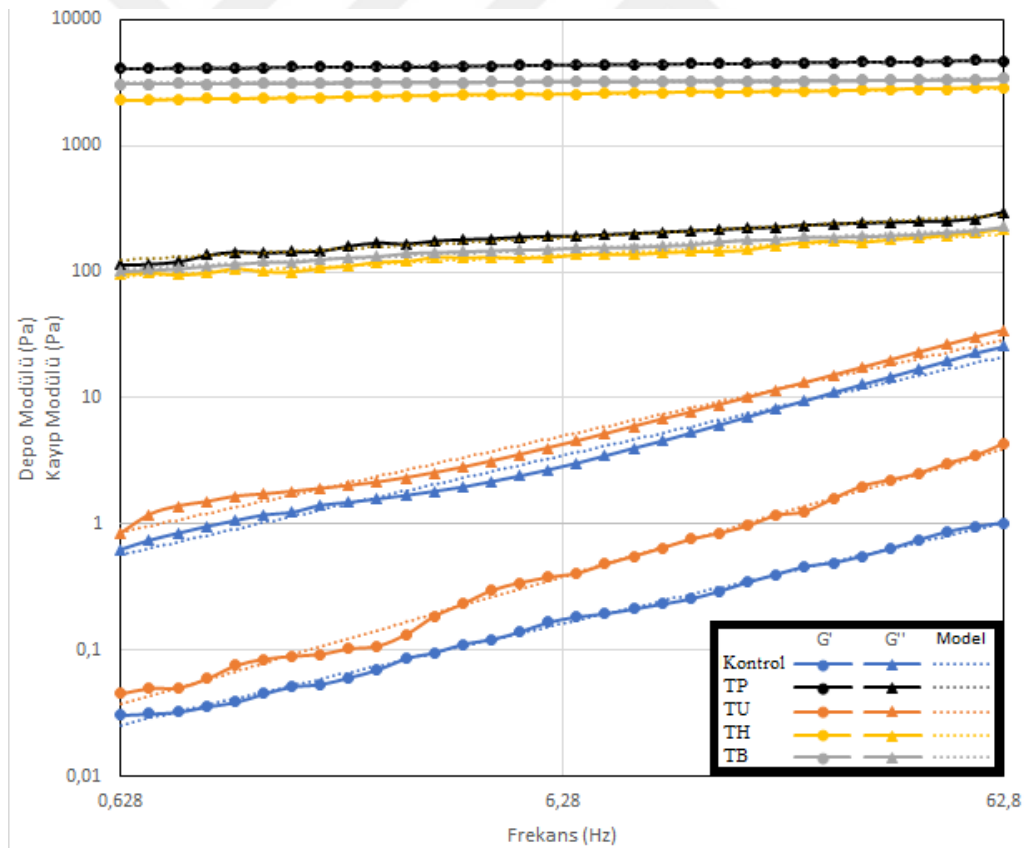
$\tau_0$ , akma gerilimini (Pa); K, kıvam indeksini (Pa.s<sup>n</sup>), n, akış davranış indeksini ifade etmektedir. Sütunlarda yer alan farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları ifade etmektedir (P<0,05). TP: modifiye edilmemiş susam protein katkılı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin.

Harschel-Barkley modelinde model doğruluğu R<sup>2</sup>>0,9999 seviyesine ulaşmıştır. Bu modelde özellikle de düşük kayma hızlarında daha doğru tahminlere ulaşmak mümkün olmuştur. Tüm tahin örnekleri için en uyumlu model Harschel-Barkley modeli olarak belirlenmiştir. Bu modelin akma stresi değerleri incelendiğinde tıpkı Bingham

modelindeki gibi hem protein ilavesinin hem de protein modifikasyonunun anlamlı bir artışa neden olduğu görülmektedir. Protein ilave edilmemiş tahinlerde akma gerilimi 1,308 Pa olarak hesaplanırken, protein ilavesiyle bu değer 1,638 Pa seviyesine; US, YBH ve YHB uygulamaları ile ise sırasıyla 1,663 Pa; 1,838 Pa ve 1,759 Pa seviyesine ilerlemiştir. Sonuç olarak tahinlerin akış karakteristiği en isabetli olarak Harschel-Barkley eşitliğiyle ifade edilmiş ve protein ilavesinin yanı sıra, ilave edilecek proteinlere uygulanacak modifikasyon işlemlerinin de tahinlerin akış özelliklerini geliştirdiği tespit edilmiştir.

#### 4.2.13.2 Dinamik reolojik özellikler

Tahinlerin dinamik reolojik özellikleri frekans taraması testi ile belirlenmiştir. Frekans taramasından elde edilen sonuçlar Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.15 Tahin örneklerinin depo ve kayıp modellerinin frekansa bağlı değişimi (TP: modifiye edilmemiş susam protein katkılı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile homojenize edilmiş protein katkılı tahin.)

Şekilden de görüldüğü üzere hem depolama modülü ( $G'$ ) hem de kayıp modülü ( $G''$ ) frekansla birlikte artma eğilimi göstermiştir. Benzer sonuç Jin vd. (2022a ve 2022b) tarafından tahin örneklerinde de tespit edilmiş olup  $G'$  değişim eğiliminin  $G''$  değişim eğilimi ile tutarlı olduğu ve her ikisinin de frekansla arttığı gözlenmiştir. Protein ilave edilmemiş tahinlerde  $G'$  değeri,  $G''$  değerinden yaklaşık 10 kat düşük çıkmıştır. Bu durum tahinin sıvıya yakın zayıf bir viskoelastik karakter sergilediğini göstermektedir. Ancak tahinlere susam proteini ilave edilmesi ile örneklerin  $G'$  değerinde 10000 kattan daha fazla miktarda artış tespit edilmiştir. Kontrol örneğinde 0,628 rad/s frekansta uygulanan deformasyonda  $G'$  değeri 0,031 Pa olarak belirlenirken, bu değer modifiye edilmemiş protein ilave edilen tahinde 4099 Pa olarak ölçülmüştür. Aynı zamanda protein ilavesiyle tahinlerde depo modülünün kayıp modülünden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum protein ilavesi ile tahinin katı benzeri güçlü bir viskoelastik yapı sergilediğini göstermektedir. Daha yüksek  $G'$  değerleri güçlü partikül-partikül etkileşimlerini ve/veya ağ tipi yapıların kararlı formlarını yansıtmakta (Vandecan ve Daems, 2011) ve bu sonuç, modifiye protein ilavesi sonucu meydana gelen yüksek oranda protein çapraz bağlanmasına ve protein-polisakkarit konjugat oluşumuna atfedilebilir (Miao vd., 2021). Elde edilen bu sonuç tahinlerde uygulanan sürülebilirlik analizi sonuçları ile de paralellik göstermektedir. Viskoelastik karakterdeki bu ciddi gelişme proteinlerin tahinin içinde su ve yağı tutarak emülsiyon jeller oluşturması ile ilişkilendirilebilir. Öte yandan uygulanan modifikasyon yöntemleri tahinlerin viskoelastik karakterleri üzerinde olumlu bir etkiye sebep olmamış, hatta ultrases uygulanan protein ilaveli tahinlerin viskoelastik karakterinde ciddi bir zayıflama tespit edilmiştir. YBH ve YHB uygulanmış protein ilaveli tahinlerde 0,628 rad/s frekansta depo modülleri sırasıyla 2292,5 Pa ve 3080,3 Pa olarak belirlenmiştir. Bu tahinlerde depo modülünün kayıp modülünden yüksek olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan US uygulanmış protein ilaveli tahinlerde 0,628 rad/s'deki depo modülü 0,045 Pa değerine gerilemiştir. Frekans taraması sonuçlarına power-law modelinin uygulanması ile elde edilen parametreler Tablo 4.7'de verilmiştir.

Tüm tahinlerin depo ve kayıp modüllerinde frekansa bağlı olarak artış tespit edilmiş ve bu artış power-law eşitliği ile modellenmiştir. Modellerin  $R^2$  değerleri 0,9673 ile 0,9974 arasında değişiklik göstermiştir. Bu durum tahinlerin viskoelastik modüllerinin power-law eşitliği ile modellenebilirliğini ortaya koymaktadır. Tüm örneklerde depo

modülüne ait modellerin  $R^2$  değerlerinin kayıp modülüne ait olanlara kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. En düşük  $K'$  ve  $K''$  değerleri protein ilave edilmeyen tahin örneğinde tespit edilmiştir.  $K'$  ve  $K''$  değerlerinin protein ilavesi ile birlikte artması ilave edilen proteinlerin katı benzeri viskoelastik karakteri güçlendirmesi ile ilişkilidir.

Tablo 4.7 Power-law model parametreleri

Örnek	$G' = K' \times \omega^{(n')}$			$G'' = K'' \times \omega^{(n'')}$		
	$K'$ (Pa.s <sup>n'</sup> )	$n'$	$R^2$	$K''$ (Pa.s <sup>n''</sup> )	$n''$	$R^2$
<b>Kontrol</b>	0,0372	0,08008	0,9974	0,8224	0,7864	0,9896
<b>TP</b>	4141,5	0,0321	0,9894	135,3	0,1773	0,9752
<b>TU</b>	0,0594	1,0127	0,9967	1,2281	0,7628	0,9917
<b>TH</b>	2358,7	0,0467	0,9900	99,428	0,1683	0,9673
<b>TB</b>	3106,1	0,0193	0,9709	114,21	0,1584	0,9856

Sütunlarda yer alan farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları ifade etmektedir ( $P < 0,05$ ). TP: modifiye edilmemiş susam protein katkılı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin.

#### 4.2.14 Duyusal Özellikler

Tahin örneklerinin duyusal değerlendirme sonuçları Tablo 4.8'de verilmiştir. Duyusal değerlendirme tahin örneklerinin doku, lezzet, görünüş ve genel beğeni üzerinden puanlaması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Değerlendirme sonucunda genel olarak tahin örnekleri arasında istatistiksel bir fark tespit edilmemiştir ( $P > 0,05$ ). Sonuçları ayrı ayrı incelediğimizde protein ilave edilen tahinlerde görünüş ve doku özelliğinin daha çok beğenildiği gözlenirken lezzet özelliği üzerine olumsuz etkiye neden olduğu belirlenmiştir. Görünüş özelliği açısından değerlendirildiğinde en az beğenilen örnek kontrol örneği olurken en fazla beğenilen örnek YBH uygulaması ile modifiye edilmiş protein ilaveli örnek olmuştur. Bununla birlikte modifiye edilmemiş protein ilavesi de tahin örneğinin görünüş özelliğinin iyileşmesinde rol oynamıştır. Benzer eğilim doku özelliğinde de saptanmış olup kontrol örneğine kıyasla protein ilaveli örnekler daha yüksek puan almıştır. Buna karşılık protein ilaveli örnekler karşılaştırıldığında sayısal olarak da örneklerin doku açısından önemli bir farklılık oluşturmadıkları tespit edilmiştir.

Tahin örneklerinin görünüş ve doku özelliklerinin aksine lezzet puanlaması sonucunda kontrol örneği daha yüksek puan almıştır. Lezzet açısından çalışmada kullanılan tahinin oldukça acı olduğu vurgulanmış olup protein ilavesi sonucu acılığın daha da arttığı ve bundan dolayı protein ilaveli örneklerin daha düşük puanlandığı söylenebilir. Genel anlamda bitkisel kaynaklı proteinlerin aminoasitlerden kaynaklı acımsı tada sahip olmaları ve bundan dolayı ilave edildikleri gıdalarda lezzeti olumsuz etkileyebilecekleri bilinen bir durumdur. Bununla birlikte lezzet puanı değerlendirildiğinde kontrol örneği ile diğer örnekler arasında anlamlı bir fark olmaması ürünün rahatlıkla tüketici tarafından kabul edilebileceğini gösterebilir.

Genel beğeni puanları değerlendirildiğinde protein ilaveli örneklerin özellikle görünüş ve doku özelliklerinin daha fazla kabul görmesinin genel beğeni puanına da yansıdığı görülmektedir. En az beğenilen ürün kontrol örneği olurken YBH uygulanmış protein ilaveli tahin örneği en fazla beğenilen ürün olmuştur. Beklendiği gibi protein ilavesi ürünlerin lezzet puanlarının azalmasına yol açmasına rağmen kontrol örneğine kıyasla genel beğeni düzeylerinin artmasına neden olmuştur.

Tablo 4.8 Farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerin ve proteinsiz kontrol tahininin duyu özellikleri

Örnek	Görünüş	Doku	Lezzet	Genel Beğeni
<b>Kontrol</b>	4,18±0,87 <sup>a</sup>	3,72±0,6 <sup>a</sup>	3,71±0,5 <sup>a</sup>	3,59±0,73 <sup>a</sup>
<b>TP</b>	4,22±0,81 <sup>a</sup>	4,09±0,43 <sup>a</sup>	3,61±0,67 <sup>a</sup>	3,68±0,71 <sup>a</sup>
<b>TH</b>	4,63±0,67 <sup>a</sup>	4,05±0,61 <sup>a</sup>	3,56±0,81 <sup>a</sup>	4,09±0,7 <sup>a</sup>
<b>TU</b>	4,27±0,78 <sup>a</sup>	4,09±0,57 <sup>a</sup>	3,48±0,68 <sup>a</sup>	3,72±0,64 <sup>a</sup>
<b>TB</b>	4,5±0,67 <sup>a</sup>	4±0,69 <sup>a</sup>	3,54±0,42 <sup>a</sup>	4,01±0,58 <sup>a</sup>

Sütunlarda yer alan farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları ifade etmektedir (P<0,05). TP: modifiye edilmemiş susam protein katkılı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin

Başdoğan (2019) yaptığı çalışmada tahinde yağ ayrımı üzerine ultrases uygulamıştır. Ultrases işlemi sonrası örneklerin duyu analizleri yapılmıştır. Duyusal analizle tat-koku, kıvam ve renk özellikleri incelemiş ve numuneler işlem görmemiş kontrol numunesiyle karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre numuneler arasındaki farklılığın az olduğu, sadece 75 dalga genliğinde 5 dk ve 100 dalga genlik 3 ve 5 dk çalışılan numunelerde istenmeyen koku oluşumu olduğu tespit edilmiştir. Uygun dalga

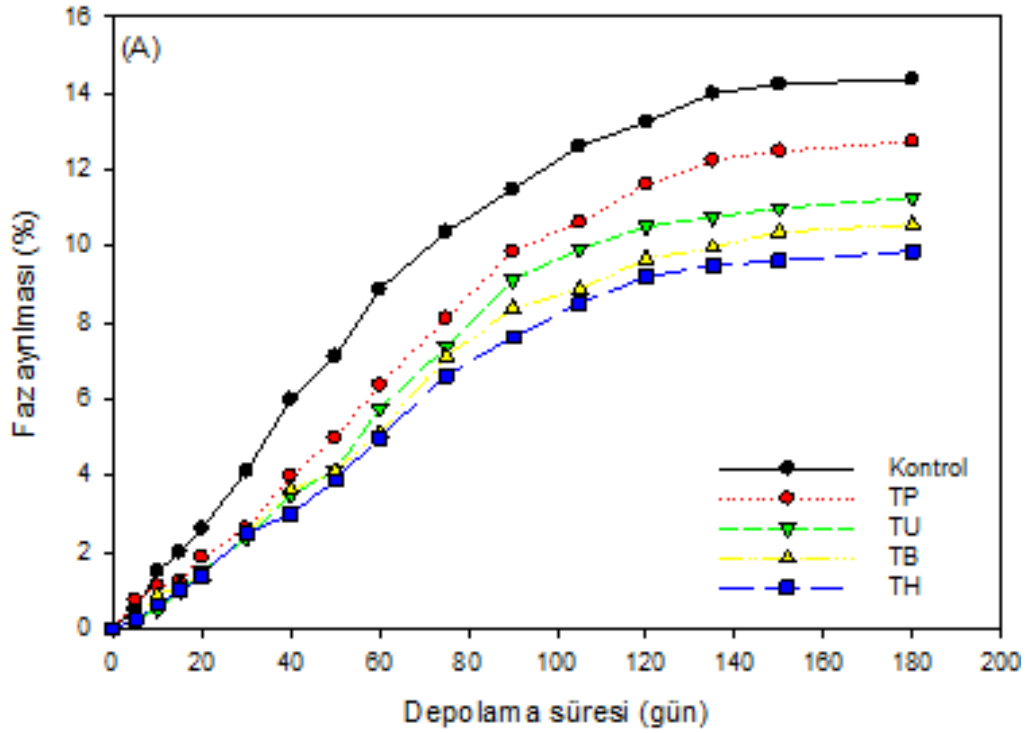
genliği ve süre kullanımının tahinin duyuşal özelliklerinde herhangi bir farklılık oluşturmadığını öngörmüştür.

#### **4.2.15 Depolama Stabilesi**

##### **4.2.15.1 Faz ayrımı**

Farklı sıcaklıklarda 180 gün boyunca depolanan tahin örneklerinde meydana gelen yağ fazının ayrımına ait sonuçlar Şekil 4.16-4.18'de verilmiştir. Genel olarak hızlandırılmış yağ ayrılması analizi sonucu ile uyumlu olarak 4 °C, 25 °C ve 40 °C'de depolanan örneklerde en fazla yağ ayrılması kontrol örneğinde gözlenmiş, tahine protein ilavesi yağ ayrılmasını azaltmıştır. Buzdolabı koşullarında depolanan bütün tahin örneklerinde faz ayrımı 90. güne kadar hızlı gerçekleşmiş daha sonra faz ayrımı yavaşlamıştır. Faz ayrımı yavaşlaması 25°C sıcaklıkta 60., 40°C sıcaklıkta ise 50. günden itibaren meydana geldiği gözlenmiştir. Bununla birlikte 4°C'de faz ayrımı denge noktasına kontrol ve modifiye olmamış protein ilaveli örneklerde 135. günde ulaşılırken modifiye protein ilaveli tahin örneklerinde ise 120. günde ulaşılmıştır. Beklendiği gibi depolama sıcaklığının artması ile faz ayrımının denge noktasına ulaşması için gereken süre azalmıştır. Oda koşullarında depolanan tahin örneklerinde faz ayrımı 105., 40°C'de depolanan protein ilaveli örneklerde ise 90. günde denge noktasına ulaşmıştır. Ancak 40°C'de depolanan kontrol örneği için denge noktasına ulaşma süresi 105. gün olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde Hou vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada farklı sıcaklıkta depolanan tahin örneklerinin farklı yağ ayrımına sahip olduğu, en düşük yağ ayrımının 4°C'de meydana geldiği ve bu durumun yağın yüksek sıcaklıktaki düşük viskozitesinden kaynaklandığı rapor edilmiştir. Buna karşılık sonuçlarımızdan farklı olarak ortalama sıcaklığın ılımlı (20,5°C) olmasına rağmen, yağ ayrımları oda sıcaklığında en yüksek düzeyde olduğu bunun da muhtemelen sıcaklık dalgalanmasından kaynaklandığı bildirilmiştir. Çiftçi vd. (2008) depolama sıcaklığının artması ile birlikte tahin örneklerinin depolama stabilesinin azaldığını ve bu azalmanın muhtemelen yüksek sıcaklıkta yağın viskozitesinin düşük olmasından kaynaklanabileceğini rapor etmişlerdir. Bir diğer çalışmada Alaouie vd. (2017), tahinde yağ ayrımının 2 ay içinde 25°C ve 35°C'de sırasıyla %11,2 ve %13,7 değerleri ile neredeyse dengeye ulaştığını bildirmiştir.

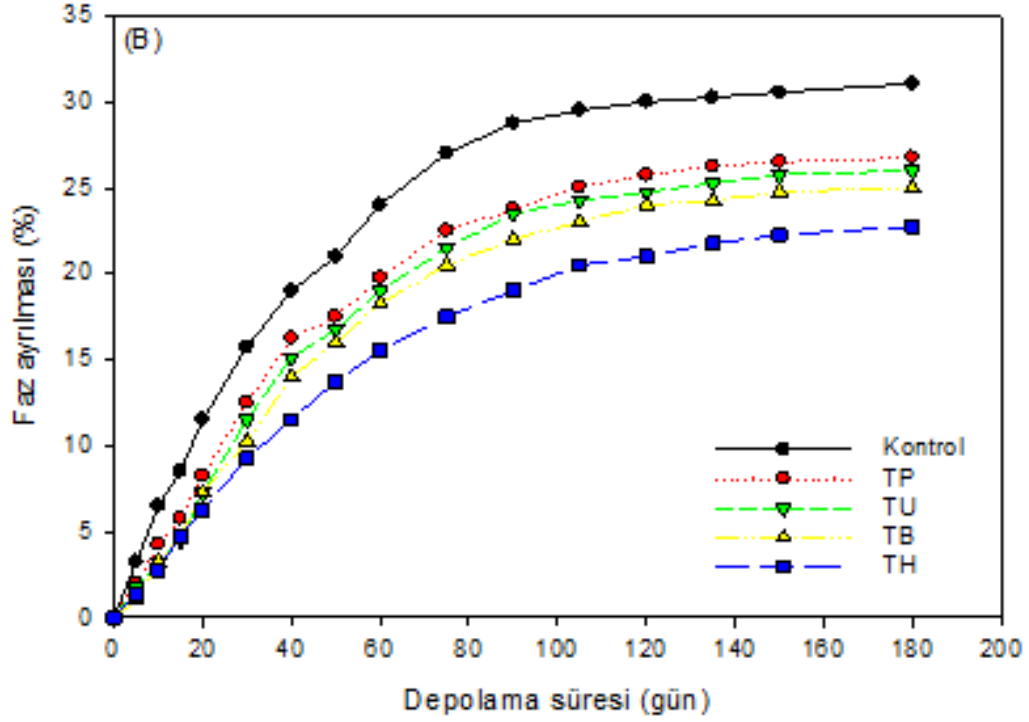
Buzdolabı koşullarında depolanan tahin örneklerinde depolama sonunda en yüksek faz ayrımı %14,38 ile kontrol örneğinde tespit edilmiştir (Şekil 4.16). İşlem görmemiş protein ilaveli tahinde faz yarımı %12,75 iken modifiye protein ilaveli tahinlerde %9,88 ile %11,28 arasında tespit edilmiştir. Hızlandırılmış faz ayrımı analiz sonucu ile uyumlu olarak en düşük faz ayrımı YBH ile modifiye protein ilaveli tahinde tespit edilmiştir. Faz ayrımı açısından protein ilave edilen tahin örnekleri arasında istatistiksel olarak önemli farklılık tespit edilmemiştir ( $P < 0,05$ ). Buzdolabı koşullarında depolanan tahin örneklerinde protein ilavesi faz ayrımını %11,95-31,36 oranında azaltmış olup en yüksek etki TH örneğinde saptanmıştır.



Şekil 4.16 4 °C’de depolanan farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerde ve protein eklenmemiş kontrol tahinde meydana gelen faz ayrımı (TP: modifiye edilmemiş susam protein katkı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile homojenize edilmiş protein katkı tahin.)

Oda koşullarında ve 40 °C’de depolanan tahin örneklerinde ise benzer şekilde en fazla faz ayrımı (%31,05) kontrol örneğinde belirlenirken en düşük faz ayrımı ise (%22,75) YBH ile modifiye protein ilaveli tahinde tespit edilmiştir (Şekil 4.17-4.18). Oda koşullarında depolanan TH örneği hariç diğer protein içeren örneklerde faz ayrımı açısından anlamlı farklılık bulunmamıştır ( $P > 0,05$ ). Buna karşılık 40 °C’de depolanan örnekler dikkate alındığında protein ilaveli tahin örnekleri arasında anlamlı fark tespit

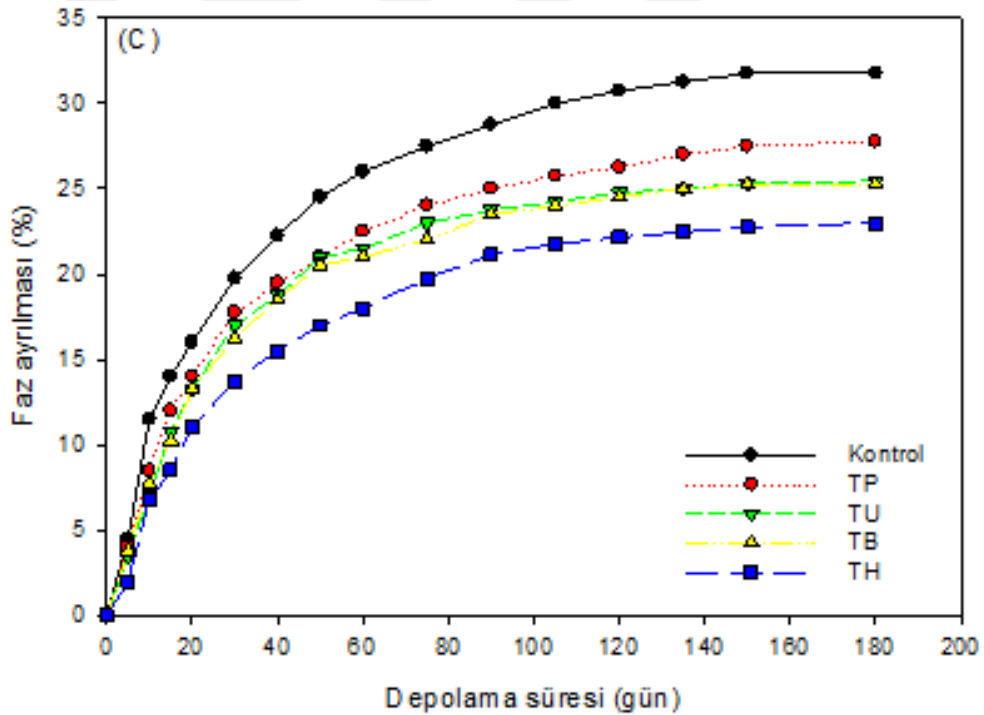
edilmiştir ( $P<0,05$ ). Oda koşullarında ve 40 °C’de depolanan tahin örneklerinde protein ilavesi faz ayrımını sırası ile %18,32-30,53 ve %18,78-26,23 oranında azaltmıştır. Her iki sıcaklıkta da en düşük ve yüksek etki sırası ile TP ve TH örneklerinde gözlenmiştir.



Şekil 4.17 25°C’de depolanan farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerde ve protein eklenmemiş kontrol tahinde meydana gelen faz ayrımı (TP: modifiye edilmemiş susam protein katkı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile homojenize edilmiş protein katkı tahin.)

Tahinde depolamaya bağlı olarak faz ayrımının önlenmesi ile ilgili çalışmalar incelendiğinde; Yüzer (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada tahine susam protein izolatu ve susam proteini içeren nanolif ilave edilmiş ve çalışma sonucunda kontrol örneği ile karşılaştırıldığında susam protein izolatu ilave edilen örneklerde %24,73, nanolif içeren örneklerde ise %63,02’ye kadar faz ayrımının önlendiği rapor edilmiştir. Yetkin (2019) faz ayrımını azaltmak için tahine susam lifi, şeker pancarı lifi ve lesitin ilave ettiği çalışmada depolama sonunda kontrol örneğine göre %30 düzeylerine kadar faz ayrımının engellendiğini bildirmiştir. Al-Manasneh vd. (2017) farklı konsantrasyonlarda palm yağı ve distile monogliserid ilavesinin tahinde yağ ayrılması üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Distile monogliserid ilavesi tahinin viskozitesini artırırken, palm yağı ilavesi azaltmıştır. %8 (w/w) konsantrasyonunda

ilave edilen distile monoglisericidin palm yağından daha iyi bir yağ bağlayıcı olarak kullanılacağı sonucuna varmışlardır. Sonuç olarak yağ ayrımının %2 palm yağında %12,5 ve %8 distile monoglisericide %50 azaldığı tespit edilmiştir. Öğütücü vd. (2018) tahinde oluşan faz ayrımını önlemek için tahine belirli oranlarda ayçiçeği mumu ve balmumu ilave ederek 25°C ve 35°C’de 21 gün boyunca depoladıkları çalışma sonucunda balmumu ve ayçiçeği mumu katkılı tahinlerde kontrol tahinine göre daha düşük yağ ayrılmasının olduğunu gözlemlemişlerdir. Bir diğer çalışmada Başdoğan (2016) farklı dalga genliğinde ve farklı sürelerde tahine uyguladığı ultrases işlemi sonrası örnekleri 6 ay boyunca depolayarak faz ayrımını incelemiştir. Yapılan incelemede 50 dalga genliğinde numunelerin kontrol numunesi ile benzer sonuç verdiği, 75 ile 100 dalga genliğindeki örneklerin depolama boyunca %23 daha az yağ ayrılmasına neden olduğu ve faz ayrımını geciktirdiği belirtilmiştir.



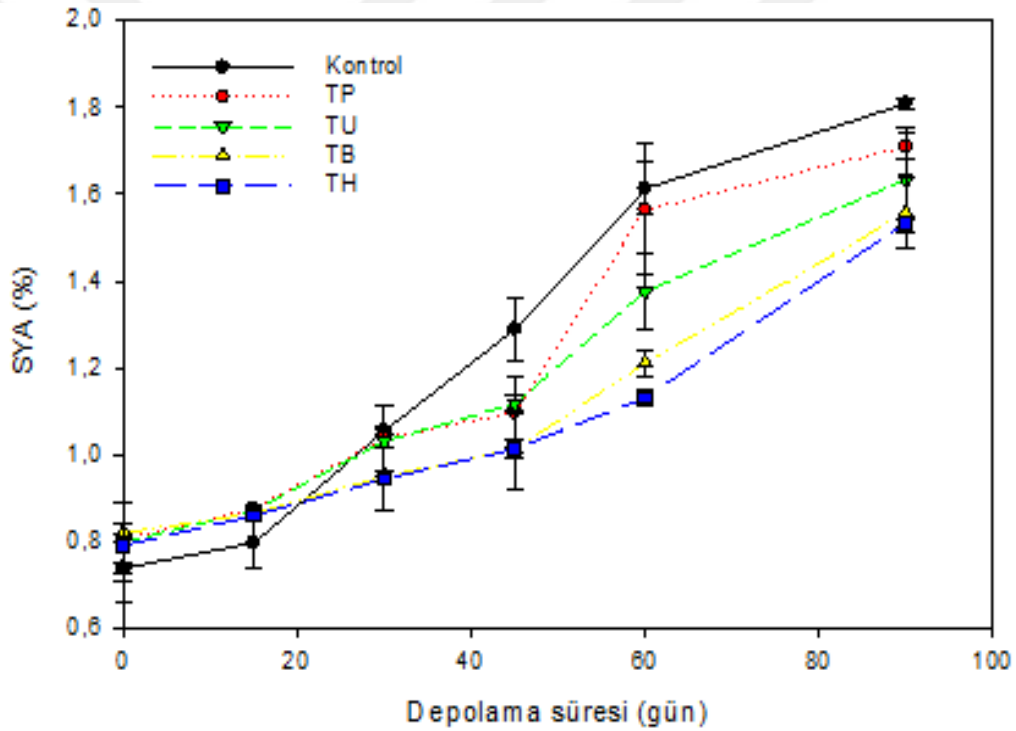
Şekil 4.18 40°C’de depolanan farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerde ve protein eklenmemiş kontrol tahinde meydana gelen faz ayrımı (TP: modifiye edilmemiş susam protein katkılı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile homojenize edilmiş protein katkılı tahin.)

#### 4.2.15.2 Oksidatif stabilite

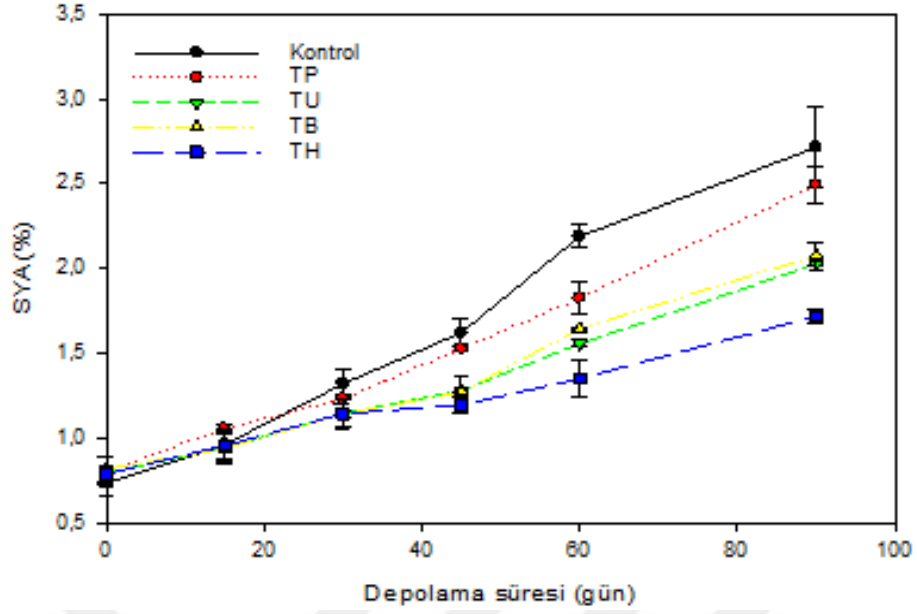
Tahin örneklerinin farklı sıcaklıklarda depolanması süresince meydana gelen oksidatif stabilitenin belirlenmesinde serbest yağ asidi ve peroksit analizleri dikkate alınmıştır. Depolama süresince 3 farklı sıcaklıkta tahin örneklerinin serbest yağ asidi ve peroksit değerlerindeki değişim sırasıyla Şekil 4.19-4.21 ve Şekil 4.22-4.24'de verilmiştir. Depolama süresine bağlı olarak tahin örneklerinin serbest yağ asidi değerlerinde artış meydana gelmiş olup beklendiği üzere protein ilave edilen tahin örneklerindeki serbest yağ asidi değişimi kontrol örneğine kıyasla daha sınırlı olmuştur. Buzdolabı koşullarında depolanan örneklerde artış oranının ilk 15 günde sınırlı bulunmasına rağmen 30. günde kontrol ve modifiye olmamış protein ilaveli örneklerin serbest yağ asidi değerlerinin önemli düzeyde arttığı görülmüştür. Depolama süresi sonunda kontrol örneğinin serbest yağ asidi değeri %1,79 olarak belirlenirken modifiye olmamış protein ilaveli örnekte %1,71 seviyesinde tespit edilmiştir. Buna karşılık modifiye protein ilaveli tahin örneklerinin serbest yağ asidi değerleri daha düşük (%1,53-1,63) bulunmuştur. Oda koşulu ve 40 °C'de depolanan örneklerde ise artış oranı daha yüksek bulunmuş olup serbest yağ asidi değerleri 90. günde sırasıyla %1,71-2,77 ve %2,63-3,53 arasında saptanmıştır. Her iki depolama ortamında da en yüksek serbest yağ asidi protein ilave edilmemiş kontrol örneğinde tespit edilmiştir. Kontrol örneği ve modifiye olmamış protein ilave edilen örneklere kıyasla modifiye edilmiş protein ilavesi genel olarak her iki sıcaklıkta da serbest yağ asidi değişimini sınırlandırmıştır. TH ve TU kodlu tahin örnekleri sırasıyla 24°C ve 40°C'de depolama sonucunda en az serbest yağ asidi içeren örnekler olarak tespit edilmiştir. Hou vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada depolama süresinin uzamasıyla birlikte tahin örneklerinin asit değerlerinin belirgin olarak 40°C'de, buna karşılık en hafifçe 4°C'de artış gösterdiği rapor edilmiştir. 180 günlük depolama süresinde tahin örneklerinin asit değerlerinin 1,52-2,79 mg KOH/g arasında olduğu belirlenmiştir.

Modifikasyon yöntemleri açısından değerlendirildiğinde yüksek basınçlı homojenizasyon tekniği ile modifiye edilen protein ilaveli tahin örneğinin serbest yağ asidi içeriği diğer örneklere kıyasla daha düşük bulunmuştur.

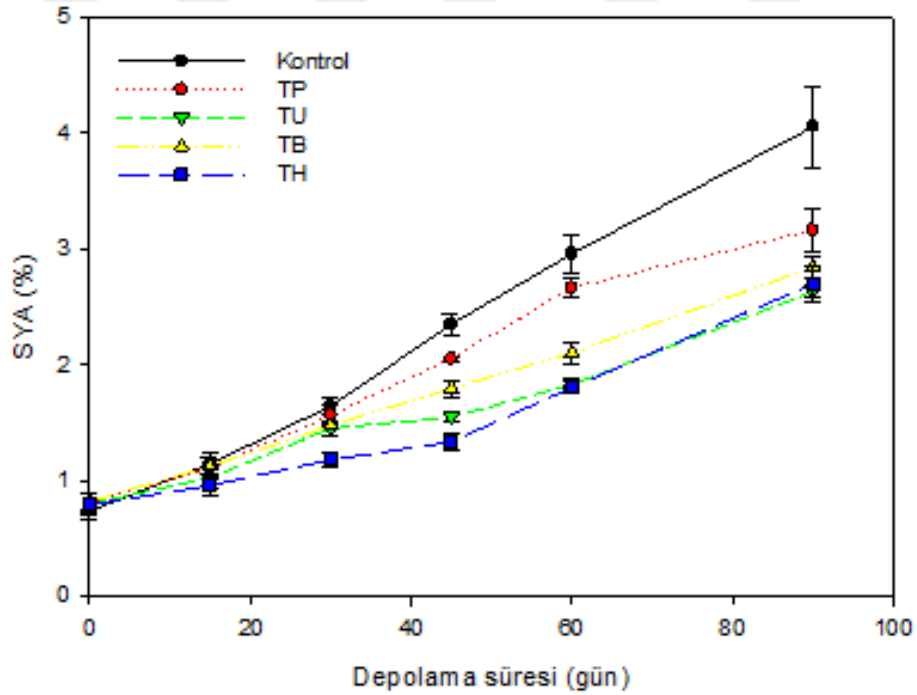
Depolama sırasında nem, sıcaklık, ışık ve diğer faktörler nedeniyle trigliseridlerin serbest yağ asitlerine parçalanması sonucu asit değerinin arttığı ve buna bağlı olarak ürünün depolama stabilitesinin azaldığı bilinmektedir (Rababah vd., 2017). Hou vd. (2023) tarafından gerçekleştirilen çalışmada farklı formülasyonlarda keten tohumu: tahin karışımı hazırlanmış ve depolamanın başlangıcında 1,66-2,30 mg/g arasında olan asit değerinin 60 günlük depolama sonunda 2,9-6,08 mg/g seviyesine kadar yükseldiği bildirilmiştir. İlave edilen keten tohumunun çoklu doymamış yağ asitleri açısından zengin olması ve oranın artmasına bağlı olarak öğütme işleminin süresinin uzamasından dolayı hem depolama başlangıcında hem de sonunda en düşük asitlik değerinin sade tahin örneğinde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.19 4°C’de depolanan farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerde ve protein eklenmemiş kontrol tahinde meydana gelen serbest yağ asidi (SYA) değişimi (TP: modifiye edilmemiş susam protein katkı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile homojenize edilmiş protein katkı tahin.)



Şekil 4.20 25°C’de depolanan farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerde ve protein eklenmemiş kontrol tahinde meydana gelen serbest yağ asidi (SYA) değişimi (TP: modifiye edilmemiş susam protein katkılı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile homojenize edilmiş protein katkılı tahin.)



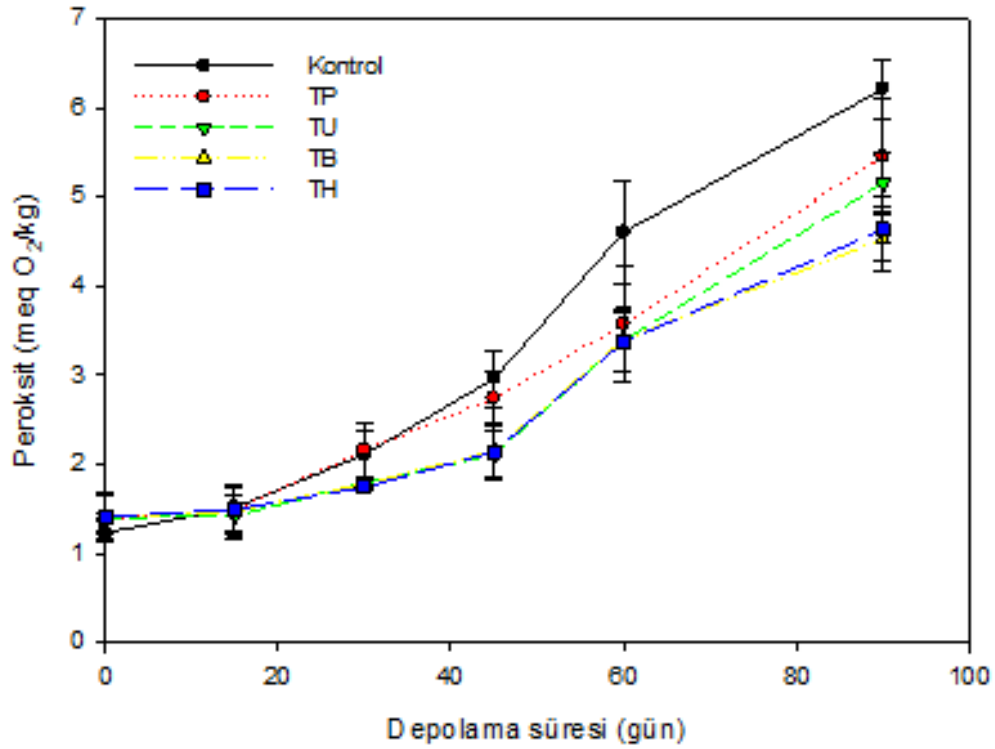
Şekil 4.21 40°C’de depolanan farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerde ve protein eklenmemiş kontrol tahinde meydana gelen serbest yağ asidi (SYA) değişimi (TP: modifiye edilmemiş susam protein katkılı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile homojenize edilmiş protein katkılı tahin.)

Tahin örneklerinin depolama süresince peroksit değerlerinde artış saptanmış olup artış hızı depolama sıcaklığının artmasına paralel bir şekilde yükselmiştir. Benzer sonuç Lee vd. (2007) ve Mureşan vd. (2015) tarafından da elde edilmiş olup bu durum düşük sıcaklıkta otooksidasyonun yavaş ilerlediğini ve sıcaklık arttıkça hızının arttığını göstermektedir. Sıcaklığın peroksit oluşumu üzerindeki belirgin etkisi List vd. (2005) tarafından açıklanmış olup peroksitlerin 21,1°C’de çok yavaş geliştiği, ancak 37,8°C ve 48,9°C’de belirgin şekilde arttığı, muhtemelen oksijenin daha yüksek sıcaklıklarda reaksiyon arayüzüne daha hızlı difüze olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir.

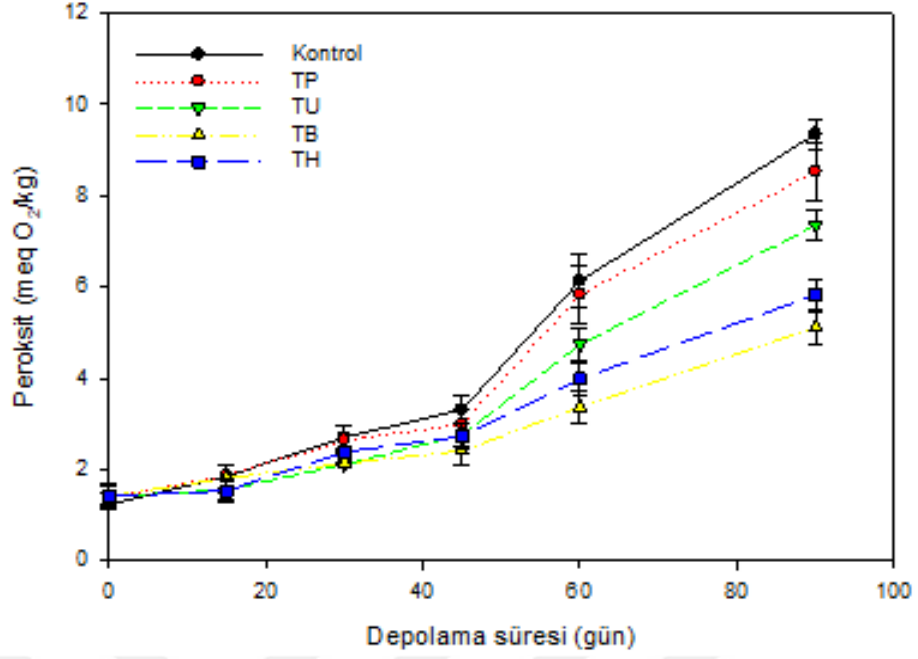
Tahin örneklerinin 4°C, 25°C ve 40°C’de 90 gün depolanması sonrası peroksit değerleri sırası ile 4,52-6,21; 5,11-9,35 ve 9,31-19,16 meq O<sub>2</sub>/kg arasında tespit edilmiştir. Borchani vd. (2010) tarafından gerçekleştirilen çalışmada 65°C’de 45 gün depolanan tahin örneklerinde peroksit değerinin 44,89 meq O<sub>2</sub>/kg seviyesine kadar yükseldiği rapor edilmiştir. Diğer bir çalışmada tahin benzeri ticari ay çekirdeği ezmelerinde peroksit değerinin depolama boyunca önemli düzeyde arttığı ve 3 ay sonunda peroksit değerleri 4°C; 25°C ve 40°C’de sırasıyla 27,42; 39,90 ve 81,84 meq O<sub>2</sub>/kg seviyelerine ulaştığı tespit edilmiştir (Mureşan vd., 2015). Hou vd., (2020) beyaz ve siyah susamdan elde ettikleri tahin örneklerinde 180 gün boyunca farklı sıcaklıklarda oksidatif stabilitedeki değişiklikleri araştırmışlardır. Farklı depolama sıcaklıklarındaki tüm örneklerde artan depolama süresi ile peroksit değerlerinin önemli ölçüde arttığı belirtilmiştir. Peroksit değerinde en fazla artış 40 °C’de olduğu belirtilirken en az artışın ise 4°C’de depolanan tahin örneklerinde olduğu ifade edilmiştir. Depolama süresi 120 güne ulaştığında 40°C’de depolanan tahinlerde peroksit değerinin 4°C’de depolanan örneklerde tespit edilenden yaklaşık üç kat fazla olduğu saptanmıştır.

Her üç depolama sıcaklığında da tahine ilave edilen protein ve proteinin farklı yöntemlerle modifikasyonu tahinde peroksit sayısındaki değişimin daha düşük olmasında rol oynamıştır. Bu durumun muhtemelen ilave edilen protein ile birlikte artan viskozite, modifiye proteinlerin emülsiyon özelliklerinin gelişmiş ve yağ bağlama özelliklerinin iyi olmasından ve buna bağlı olarak depolama boyunca ayrılan ve doğrudan havaya maruz kalan yağ miktarının düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Proteinin farklı tekniklerle modifikasyonu ve modifiye proteinin

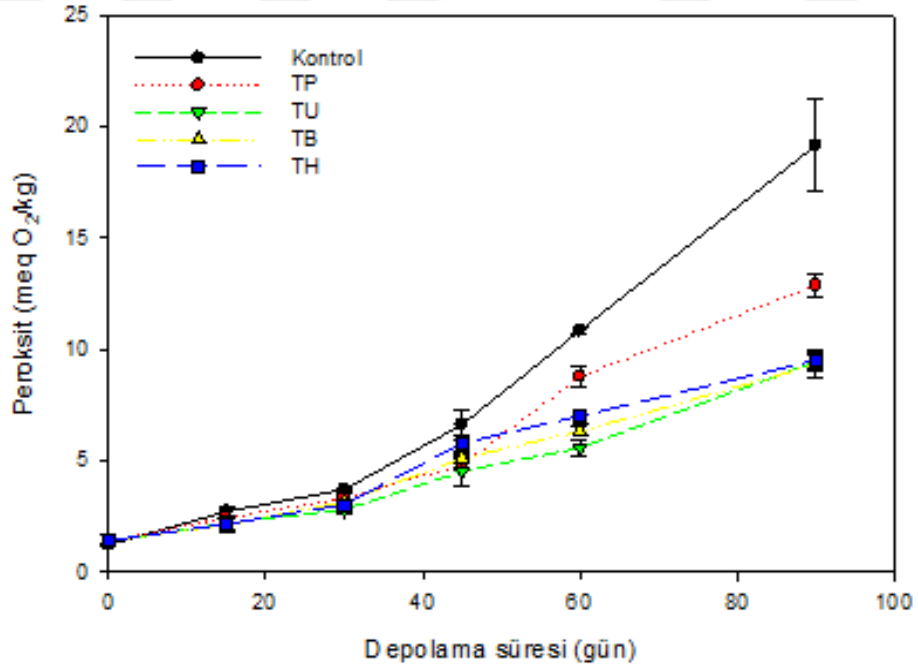
emülsiyonlarda kullanımı veya protein yağ emülsiyonlarının hazırlanmasında farklı tekniklerin kullanılmasına yönelik çalışmalar mevcut olup oksidatif stabiliteye yönelik bilgiler de sunmaktadır. Fernandez-Avila ve Trujillo (2016) soya proteini-yag emülsiyonunun hazırlanmasında uyguladıkları farklı homojenizasyon basıncının depolama süresince peroksit oluşumu üzerine etkili olduğunu, 15 günlük depolama sonunda %20 yağ içeren emülsiyonlarda en düşük peroksit değerinin 100 ve 200 MPa basınç uygulanan örneklerde tespit edildiğini rapor etmişlerdir.



Şekil 4.22 4°C’de depolanan farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerde ve protein eklenmemiş kontrol tahinde meydana gelen peroksit değişimi (TP: modifiye edilmemiş susam protein katkı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile homojenize edilmiş protein katkı tahin.)



Şekil 4.23 25°C’de depolanan farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerde ve protein eklenmemiş kontrol tahinde meydana gelen peroksit değişimi (TP: modifiye edilmemiş susam protein katkı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile homojenize edilmiş protein katkı tahin.)



Şekil 4.24 40°C’de depolanan farklı yöntemlerle modifiye edilmiş proteinlerce zenginleştirilmiş tahinlerde ve protein eklenmemiş kontrol tahinde meydana gelen peroksit değişimi (TP: modifiye edilmemiş susam protein katkı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile homojenize edilmiş protein katkı tahin.)

#### 4.2.16 Kinetik Modelleme

Reaksiyon hızını deneysel değişkenlerin bir fonksiyonu olarak tanımlamada bir sistem için temel kinetik bilgileri türetmek adına kinetik modelleme gerekmektedir. Kinetik modelleme; reaksiyon hızını deneysel değişkenlerin bir fonksiyonu olarak tanımlamak ve dolayısıyla gıdanın işlenmesi ve depolanma sırasında meydana gelebilecek belirli değişiklikleri tahmin etmek bir sistem olarak temel kinetik bilgileri elde etmek için gereklidir (Yu vd., 2013). Literatürdeki çalışmalar dikkate alındığında gıda materyalinde meydana gelen değişiklikler çoğunlukla 0. dereceden veya 1. dereceden reaksiyon kinetiği modelleri ile açıklanmaktadır. Ayrıca kaliteyle ilgili reaksiyon hızlarının çoğu 0. veya 1. dereceden reaksiyonlar olduğundan ve her iki tip arasındaki istatistiksel fark küçük olabileceğinden, çalışmamızda farklı sıcaklıklarda depolanan tahin örneklerinin faz ayrımı, serbest yağ asitliği ve peroksit sayısındaki değişikliklerin açıklanmasında 0. ve 1. dereceden reaksiyon kinetiği modelleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.9-4.11’de verilmiştir.

Farklı sıcaklıklarda depolanan tahin örneklerinin kinetik modelinin belirlenebilmesi için  $R^2$  değeri kullanılmış olup, en uygun modelin belirlenmesinde  $R^2$  değerlerinin 1’e yakın olması hedeflenmiştir. Buna göre depolama süresince farklı sıcaklıklarda depolanan örneklerde faz ayrımı, serbest yağ asidi ve peroksit değerleri için anlamlı sonuç elde edilmiş olup 1. derece kinetik modelin uygun olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.9 Farklı sıcaklıklarda depolanan tahin örneklerinin 0. ve 1. dereceden reaksiyon kinetiklerinden faz ayrılması regresyon analizi

Sıcaklık (°C)	Örnek	0. derece			1. derece		
		$k_0$ (1/gün)	$C_0$	$R^2$	$k_0$ (1/gün)	$C_0$	$R^2$
4	K	0,091	1,561	0,9167	$0,6 \times 10^{-3}$	-0,408	0,9977
	TP	0,082	0,732	0,9476	$0,4 \times 10^{-3}$	-0,459	0,9895
	TU	0,075	0,493	0,9336	$0,4 \times 10^{-3}$	-0,82	0,9857
	TB	0,068	0,618	0,9407	$0,3 \times 10^{-3}$	-0,545	0,9906
	TH	0,064	0,545	0,935	$0,3 \times 10^{-3}$	-0,567	0,9907
25	K	0,184	8,034	0,812	$-1,7 \times 10^{-3}$	2,076	0,9849
	TP	0,155	5,915	0,818	$-1,4 \times 10^{-3}$	0,982	0,9853
	TU	0,154	5,168	0,8230	$-1,4 \times 10^{-3}$	0,338	0,9864

Tablo 4.9'un devamı

Sıcaklık (°C)	Örnek	0. derece			1. derece		
		$k_0$ (1/gün)	$C_0$	$R^2$	$k_0$ (1/gün)	$C_0$	$R^2$
25	TB	0,149	4,787	0,8326	$-1,3 \times 10^{-3}$	0,251	0,989
	TH	0,134	4,06	0,8662	$-1 \times 10^{-3}$	0,466	0,993
40	K	0,172	11,383	0,759	$-1,9 \times 10^{-3}$	5,253	0,9517
	TP	0,134	9,827	0,724	$-1,53 \times 10^{-3}$	4,885	0,9216
	TU	0,124	9,343	0,683	$-1,48 \times 10^{-3}$	4,233	0,9163
	TB	0,123	9,189	0,7038	$-1,42 \times 10^{-3}$	4,343	0,9231
	TH	0,117	7,371	0,7467	$-1,29 \times 10^{-3}$	3,111	0,9441

K: kontrol, TP: modifiye edilmemiş susam protein katkı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile homojenize edilmiş protein katkı tahin.

Tablo 4.10 Farklı sıcaklıklarda depolanan tahin örneklerinin 0. ve 1. dereceden reaksiyon kinetiklerinden serbest yağ asidi (SYA) regresyon analizi

Sıcaklık (°C)	Örnek	0. derece			1. derece		
		$k_0$ (1/gün)	$C_0$	$R^2$	$k_0$ (1/gün)	$C_0$	$R^2$
4	K	0,012	0,712	0,9245	$-4,86 \times 10^{-5}$	0,657	0,9395
	TP	0,011	0,742	0,9037	$2,08 \times 10^{-5}$	0,766	0,9259
	TU	0,009	0,752	0,9749	$2,51 \times 10^{-5}$	0,779	0,9755
	TB	0,008	0,74	0,9222	$4,14 \times 10^{-5}$	0,821	0,9917
	TH	0,008	0,727	0,9171	$4,15 \times 10^{-5}$	0,808	0,991
25	K	0,023	0,672	0,9842	$9,25 \times 10^{-5}$	0,685	0,9876
	TP	0,018	0,746	0,9895	$6,4 \times 10^{-5}$	0,818	0,9989
	TU	0,014	0,745	0,988	$4,74 \times 10^{-5}$	0,799	0,9977
	TB	0,014	0,743	0,9783	$5,39 \times 10^{-5}$	0,804	0,9895
	TH	0,009	0,798	0,9855	$1,49 \times 10^{-5}$	0,815	0,9873
40	K	0,038	0,632	0,9956	$6,01 \times 10^{-4}$	0,677	0,9965
	TP	0,028	0,782	0,9824	$5,56 \times 10^{-4}$	0,719	0,9856
	TU	0,019	0,756	0,9783	$4,01 \times 10^{-4}$	0,824	0,9856
	TB	0,022	0,798	0,9998	$2,1 \times 10^{-4}$	0,822	0,9995
	TH	0,021	0,646	0,9488	$2 \times 10^{-4}$	0,816	0,9892

K: kontrol, TP: modifiye edilmemiş susam protein katkı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile homojenize edilmiş protein katkı tahin.

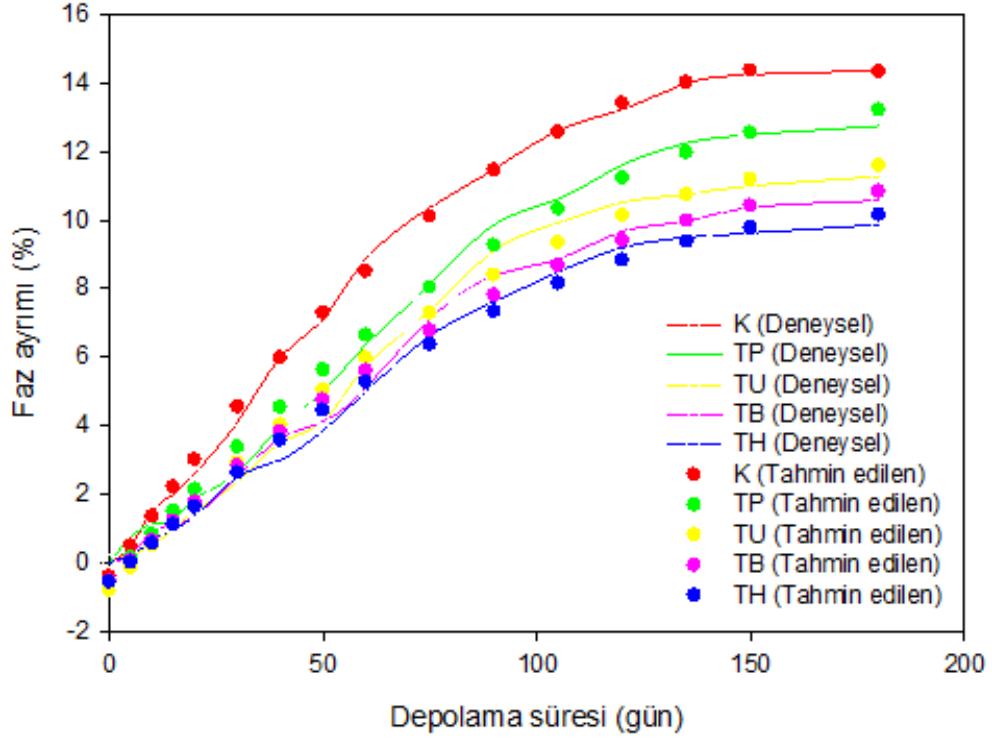
Tablo 4.11 Farklı sıcaklıklarda depolanan tahin örneklerinin 0. ve 1. dereceden reaksiyon kinetiklerinden peroksit regresyon analizi

Sıcaklık (°C)	Örnek	0. derece			1. derece		
		$k_0$ (1/gün)	$C_0$	$R^2$	$k_0$ (1/gün)	$C_0$	$R^2$
4	K	0,059	0,726	0,9399	$0,3 \times 10^{-3}$	1,031	0,9547
	TP	0,046	0,944	0,9596	$0,3 \times 10^{-3}$	1,304	0,9967
	TU	0,043	0,818	0,9014	$0,5 \times 10^{-3}$	1,34	0,9859
	TB	0,036	0,978	0,9209	$0,6 \times 10^{-3}$	-0,389	0,9991
	TH	0,039	0,951	0,9156	$0,3 \times 10^{-3}$	1,326	0,9734
25	K	0,092	0,406	0,9388	$0,7 \times 10^{-3}$	1,189	0,9822
	TP	0,082	0,603	0,9241	$0,6 \times 10^{-3}$	1,328	0,9707
	TU	0,068	0,573	0,9205	$0,6 \times 10^{-3}$	1,299	0,9864
	TB	0,04	1,091	0,9381	$0,3 \times 10^{-3}$	1,477	0,9931
	TH	0,055	0,591	0,9056	$0,3 \times 10^{-3}$	0,957	0,9313
40	K	0,201	-0,646	0,9427	$1,7 \times 10^{-3}$	1,246	0,9963
	TP	0,133	0,467	0,9702	$0,6 \times 10^{-3}$	1,146	0,9873
	TU	0,09	0,885	0,9568	$0,6 \times 10^{-3}$	1,302	0,9699
	TB	0,091	0,942	0,9871	$0,3 \times 10^{-3}$	1,225	0,9932
	TH	0,096	0,978	0,9745	$6,98 \times 10^{-4}$	1,057	0,9749

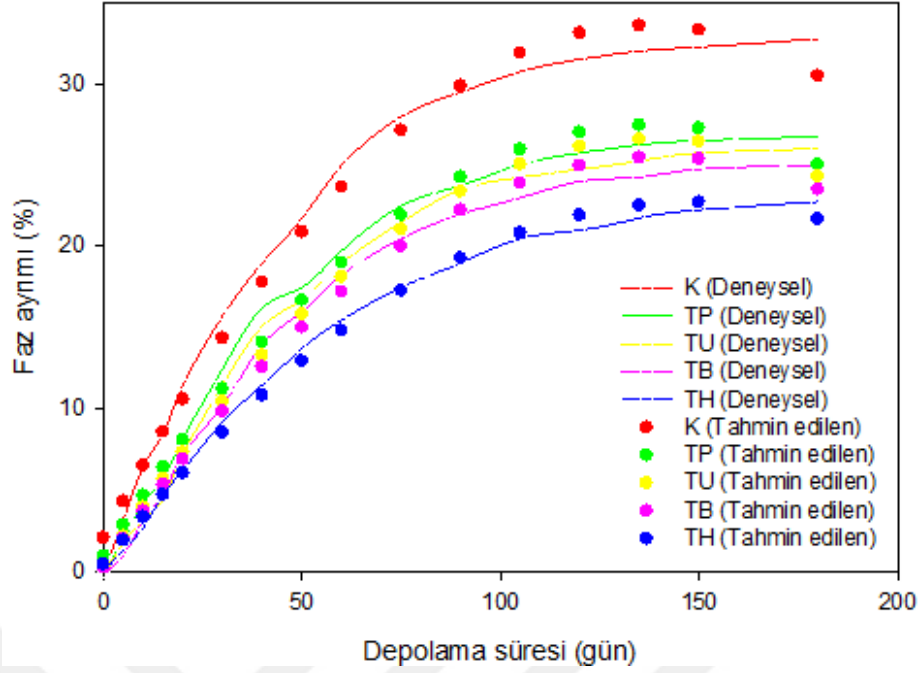
K: kontrol, TP: modifiye edilmemiş susam protein katkılı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile homojenize edilmiş protein katkılı tahin.

Depolama sırasında farklı sıcaklıklarda depolanan tahin örneklerinde meydana gelen faz ayrımı deneysel sonuçları ve 1. derece reaksiyon kinetik modeli ile elde edilen (tahminlenen) sonuçlar Şekil 4.25-4.27’de verilmiştir. Beklendiği üzere yüksek sıcaklıkta depolanan örneklerin  $k_0$  değeri (mutlak) diğer depolama sıcaklıklarına kıyasla daha yüksek bulunmuş olup sıcaklığın yükselmesi ile birlikte faz ayrım hızının daha yüksek olduğunu ifade etmektedir. Buzdolabı koşullarında depolanan örneklerde en yüksek  $k_0$  değeri ( $0,6 \times 10^{-3}$  1/gün) kontrol örneğinde tespit edilmiş olup tahine ilave edilen proteine bağlı olarak azalma eğilimi göstermiştir. Yüksek hidrostatik basınç ve yüksek basınçlı homojenizasyon teknikleri ile modifiye edilen proteinlerin ilave edildiği tahin örneklerinde  $k_0$  değeri diğer örneklere kıyasla daha düşük düzeyde tespit edilmiştir. Depolama sıcaklığının yükselmesi ile birlikte  $k_0$  değerinde artma (mutlak) eğilimi gözlenmiş olup oda koşullarında depolanan örneklerde en yüksek  $k_0$  değeri kontrol örneğinde, en düşük değer ise yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye

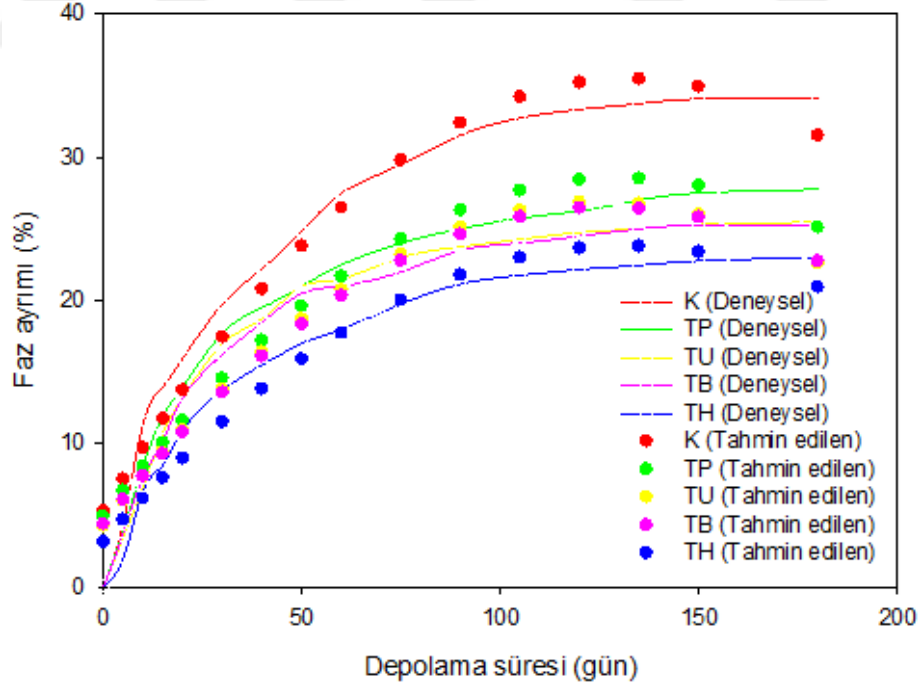
edilmiş protein ilaveli örnekte saptanmıştır. Benzer eğilim 40 °C’de depolanan tahin örneklerinde de gözlenmiş olup en yüksek ve en düşük  $k_0$  değeri sırasıyla kontrol ve yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye protein ilaveli tahin örneğinde belirlenmiştir.



Şekil 4.25 4°C’de depolama süresinin bir fonksiyonu olarak tahin örneklerinde faz ayrımının kinetik değişimi (TP: modifiye edilmemiş susam protein katkılı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile homojenize edilmiş protein katkılı tahin.)

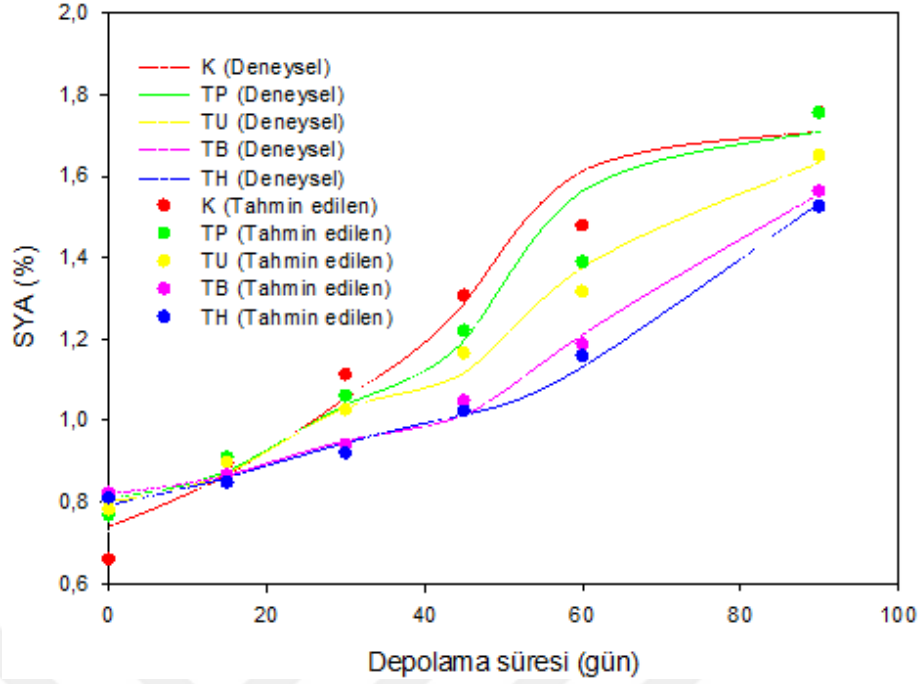


Şekil 4.26 25°C'de depolama süresinin bir fonksiyonu olarak tahin örneklerinde faz ayırımının kinetik değişimi (TP: modifiye edilmemiş susam protein katkı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile homojenize edilmiş protein katkı tahin.)

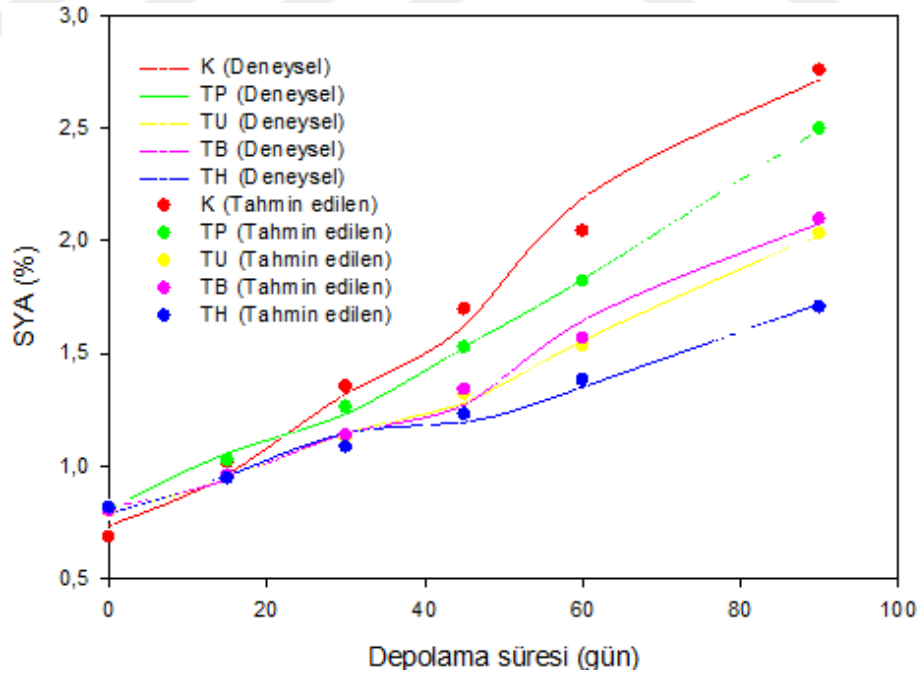


Şekil 4.27 40°C'de depolama süresinin bir fonksiyonu olarak tahin örneklerinde faz ayırımının kinetik değişimi (TP: modifiye edilmemiş susam protein katkı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile homojenize edilmiş protein katkı tahin.)

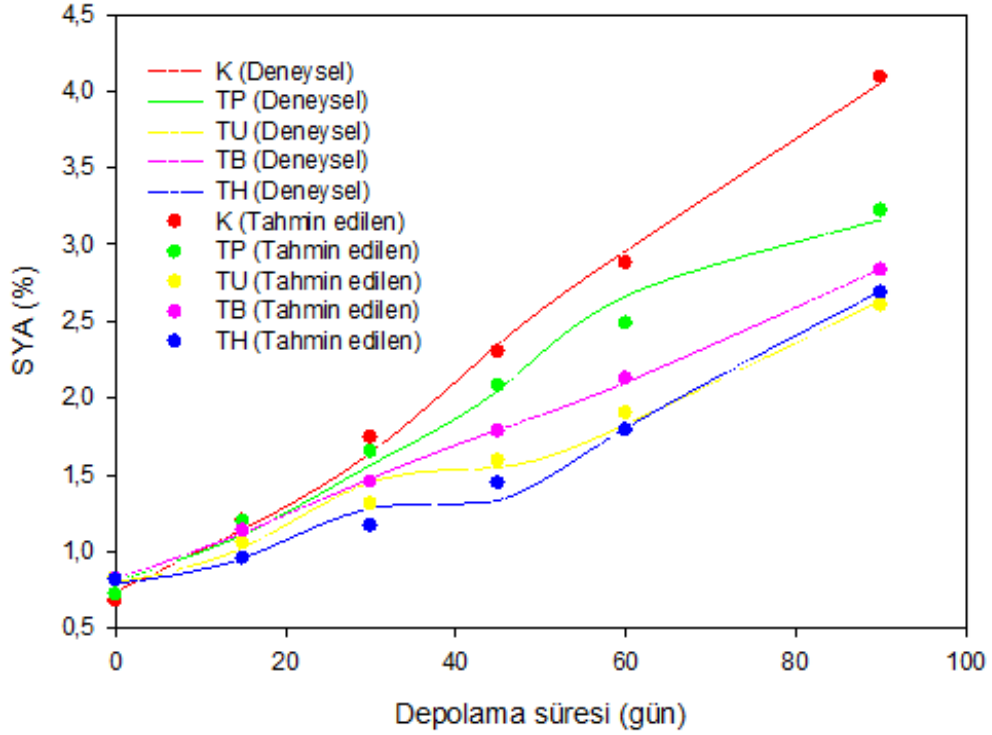
Farklı sıcaklıklarda depolanan tahin örneklerinin serbest yağ asidi deneysel sonuçları ve 1. derece reaksiyon kinetik modeli ile elde edilen (tahminlenen) sonuçlar Şekil 4.28-4.30'da verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü üzere tahin örnekleri için 1. derece modelden elde edilen tahmini serbest yağ asidi sonuçları ile deneysel serbest yağ asidi değerleri benzerlik göstermektedir. Bununla birlikte depolama sıcaklığının artması ile birlikte serbest yağ asidi değişim hızının genel olarak arttığı, ancak artışın 25°C'den sonra daha sınırlı kaldığı görülmektedir. Buzdolabı koşullarında depolanan örneklerde en yüksek  $k_0$  değeri ( $4,86 \times 10^{-5}$  mutlak) kontrol örneğinde tespit edilmiş olup yüksek hidrostatik basınç ve yüksek basınçlı homojenizasyon teknikleri ile modifiye edilen proteinlerin ilave edildiği tahinler ile benzer özellik sergilemiştir. Buna karşılık işlem görmemiş protein ve ultrases ile modifiye protein ilave edilmiş örneklerde  $k_0$  değeri diğer örneklere kıyasla daha düşük bulunmuştur. Depolama sıcaklığının yükselmesi ile birlikte  $k_0$  değerinde artma eğilimi gözlenmiş, oda koşullarında depolanan örneklerde en yüksek  $k_0$  değeri kontrol örneğinde tespit edilirken en düşük  $k_0$  değeri ise yüksek basınçlı homojenizasyon tekniği ile modifiye edilen protein ilaveli örnekte belirlenmiştir. Benzer eğilim 40°C'de depolanan tahin örneklerinde de gözlenmiş olup en yüksek ve en düşük  $k_0$  değeri sırasıyla kontrol ve yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye protein ilaveli tahin örneğinde saptanmıştır.



Şekil 4.28 4°C’de depolama süresinin bir fonksiyonu olarak tahin örneklerinde SYA (%) değerlerinin kinetik değişimi (TP: modifiye edilmemiş susam protein katkılı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile homojenize edilmiş protein katkılı tahin.)

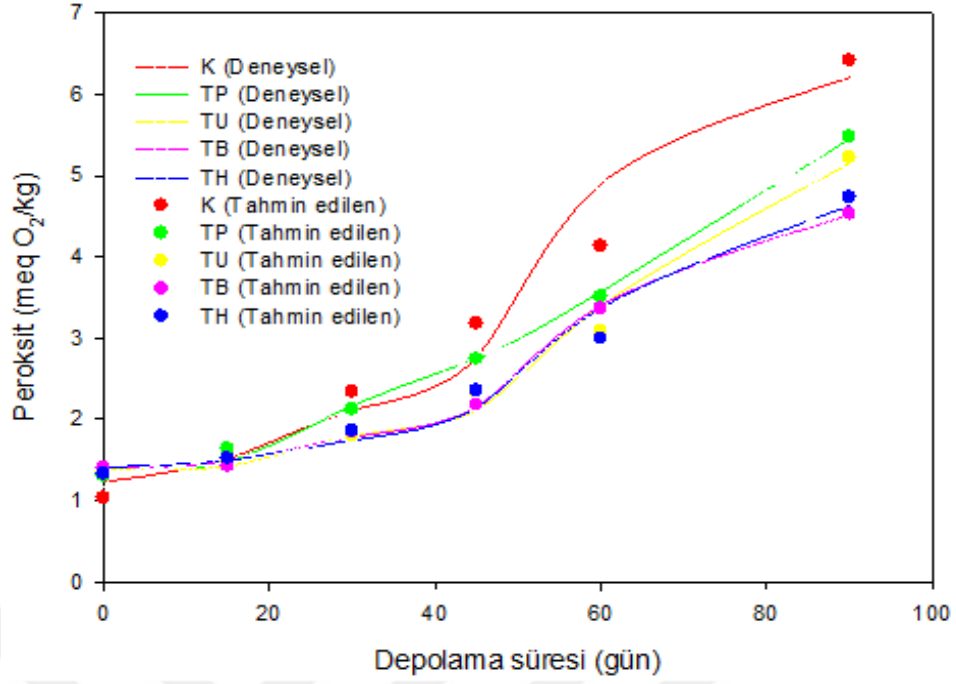


Şekil 4.29 25°C’de depolama süresinin bir fonksiyonu olarak tahin örneklerinde SYA (%) değerlerinin kinetik değişimi (TP: modifiye edilmemiş susam protein katkılı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile homojenize edilmiş protein katkılı tahin.)

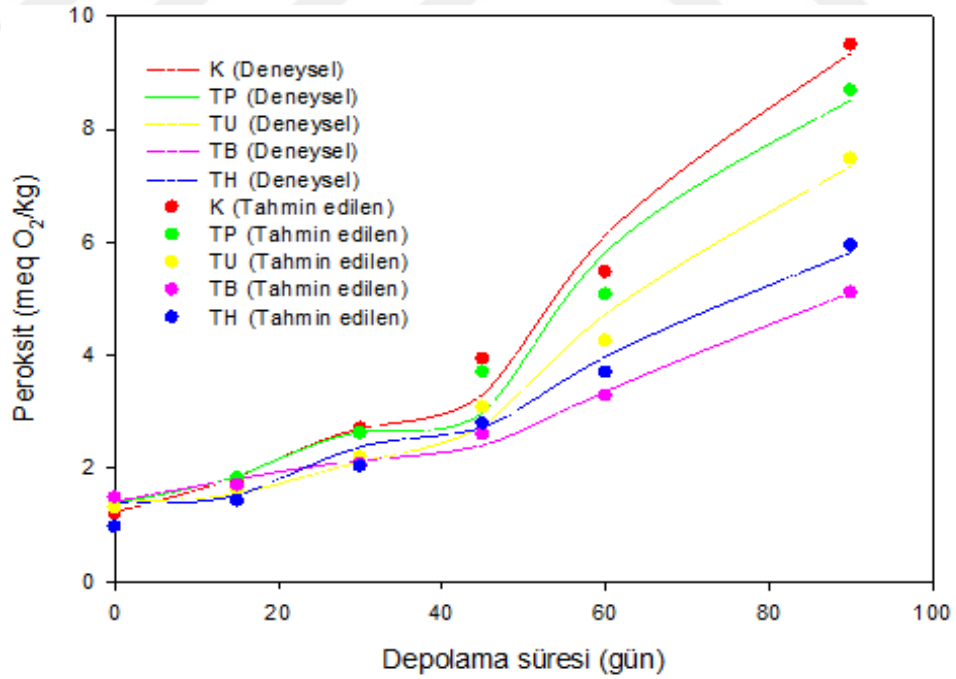


Şekil 4.30 40°C’de depolama süresinin bir fonksiyonu olarak tahin örneklerinde SYA (%) değerlerinin kinetik değişimi (TP: modifiye edilmemiş susam protein katkı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile homojenize edilmiş protein katkı tahin.)

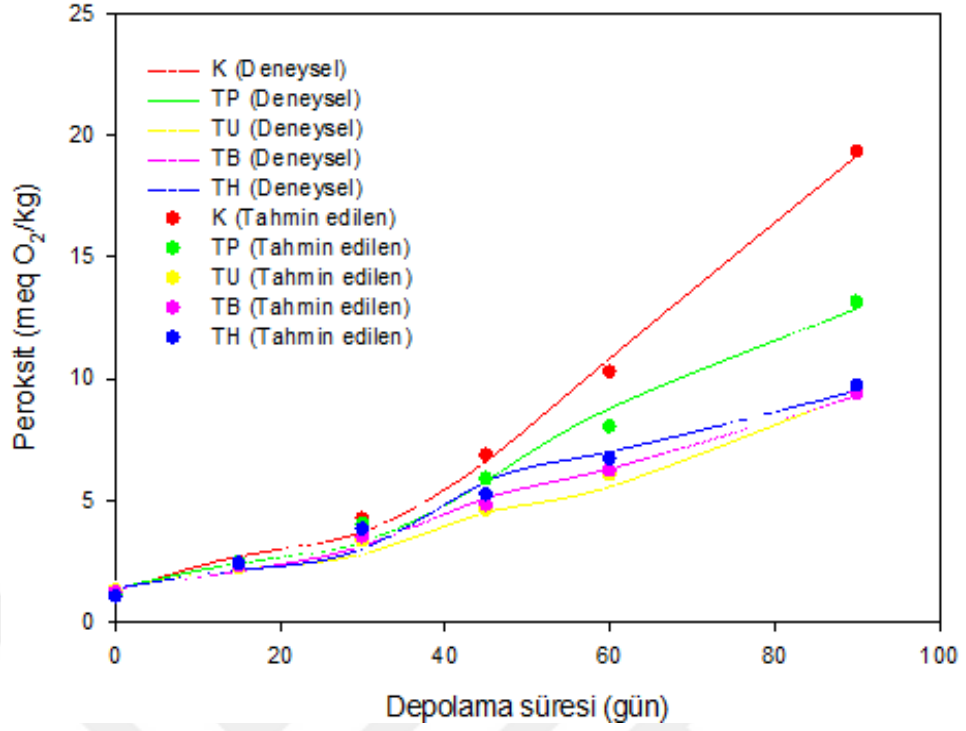
Farklı sıcaklıklarda depolanan tahin örneklerinde depolama boyunca meydana gelen deneysel peroksit değerleri ve 1. derece reaksiyon kinetik modeli ile elde edilen (tahminlenen) sonuçlar Şekil 4.31-4.33’de görülmektedir. Buzdolabı koşullarında depolanan örneklerde peroksit değişimine karşılık gelen oran sabitleri sırasıyla  $0,3 \times 10^{-3}$  ile  $0,6 \times 10^{-3}$  1/gün arasında tespit edilmiştir. Kontrol, işlem görmemiş protein ve yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein ilave edilen örnekler benzer özellik sergilemiş, diğer örneklerde reaksiyon hızı daha yüksek bulunmuştur. Oda koşulları ve 40°C’de depolanan tahin örneklerinde  $k_0$  değeri kontrol örneğinde yüksek bulunmuş olup protein ilavesi reaksiyon hızının azalmasına neden olmuştur. Her iki sıcaklıkta da en düşük  $k_0$  değeri diğer örneklere kıyasla yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye protein ilave edilen örnekte daha düşük bulunmuştur.



Şekil 4.31 4°C’de depolama süresinin bir fonksiyonu olarak tahin örneklerinde peroksit (meq O<sub>2</sub>/kg) değerlerinin kinetik değişimi (TP: modifiye edilmemiş susam protein katkılı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile homojenize edilmiş protein katkılı tahin.)



Şekil 4.32 25°C’de depolama süresinin bir fonksiyonu olarak tahin örneklerinde peroksit (meq O<sub>2</sub>/kg) değerlerinin kinetik değişimi (TP: modifiye edilmemiş susam protein katkılı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile homojenize edilmiş protein katkılı tahin.)



Şekil 4.33 40 °C’de depolama süresinin bir fonksiyonu olarak tahin örneklerinde peroksit (meq O<sub>2</sub>/kg) değerlerinin kinetik değişimi (TP: modifiye edilmemiş susam protein katkı tahin, TH: yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkı tahin, TU: ultrases ile modifiye edilmiş protein katkı tahin, TB: yüksek hidrostatik basınç ile homojenize edilmiş protein katkı tahin.)

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada soğuk pres susam küspesinden ekstrakte edilen ve yüksek basınçlı homojenizasyon, yüksek hidrostatik basınç ve ultrases gibi yenilikçi teknolojiler ile modifiye edilen susam protein izolatlarının tahin örneklerine ilave edilmesi ile tahinin genel özellikleri, yapısı ve depolama süresince faz ayrımı ve oksidatif stabilitesi üzerine etkileri araştırılmıştır.

Modifiye edilmemiş ve farklı tekniklerle modifiye edilen susam protein izolatları %2 oranında tahin örneklerine ilave edilmiş ve modifiye edilmemiş susam protein katkılı tahin (TP), yüksek basınçlı homojenizasyon ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin (TH), ultrases ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin (TU) ve yüksek hidrostatik basınç ile modifiye edilmiş protein katkılı tahin (TB) olmak üzere örnekler hazırlanmış ve analizleri yapılarına değerlendirilmiştir.

Genel fizikokimyasal değerler (kurumadde, protein, yağ, mineral madde) tüm örneklerde Tahin tebliğine uygun bulunmuştur. Kontrol tahin örneğinin pH değeri 6,12 olarak belirlenmiş olup kontrol örneğine kıyasla protein katkılı tahin örneklerinin pH değerlerinde 0,1-0,2 birim arasında artış saptanmıştır. Bu artışın muhtemelen çalışmada kullanılan proteinlerin hazırlanmasında pH değerinin 7,0 olarak ayarlanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Protein ilave edilmemiş tahin örneğinde yağ ayrılmasının %35,07 olduğu tespit edilirken protein ilave edilen tahin örneklerinde ise yağ ayrılmasının %18,29 ile %24,01 arasında olduğu tespit edilmiştir. Hızlandırılmış yağ ayrılması analizi sonucunda protein ilavesinin tahinde yağ ayrılmasını önemli düzeyde azalttığı gözlenmiştir. Bunun nedeninin protein-protein etkileşimi, partikül boyutunun küçülmesi ve protein yüzey alanının genişlemesine bağlı olarak protein ilavesinin çok iyi bir yağ bağlayıcı özelliğe sahip olduğu ile ilişkilendirilebilmektedir.

Türk Gıda Kodeksi Tahin Tebliği'ne göre tahinde bulunmasına izin verilen maksimum asitlik değeri %2,4'tür. Tüm örneklerin asitlik değerlerinin kodekse uygun olduğu tespit edilmiştir. 0. günde kontrol ve farklı yöntemlerle modifiye edilmiş protein içeren

tahin örneklerinin serbest asitliklerinde anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir. Türk Gıda Kodeksi Tahin Tebliği'nde peroksit değeri açısından bir bilgi bulunmamaktadır ve yürürlükten kaldırılan tahin standardına (TS2589) göre izin verilen en yüksek peroksit değeri 5 meq O<sub>2</sub>/kg'dır. Tüm örneklerin peroksit değeri bu değer altındadır. 0. günde tüm modifiye protein içeren örneklerdeki peroksit değerinin kontrol örneğine oranla önemli ölçüde yüksek olduğu ancak protein ilave örneklerin peroksit değerleri arasında anlamlı bir fark olmadığı saptanmıştır.

Tahin örneklerinin zeta potansiyel değerleri -14,62 ile -21,78 mV arasında belirlenmiştir. En düşük zeta potansiyeli değeri kontrol örneğinde ölçülmüştür. Susam protein ilavesi tahin örneklerinin zeta potansiyel değerlerinin önemli düzeyde artmasına yol açmıştır.

Tahin örneklerinin tekstürel özelliklerinin incelendiği aşamada herhangi bir protein ilavesi yapılmayan tahinlerde sıklık değeri 56,63 g olarak tespit edilirken, protein ilave edilmiş tahinlerde sıklık değerinin 60,93 g ile 65,55 g arasında değiştiği belirlenmiştir. Tahine yapılan susam proteini ilavesi ile tahinlerde sıklık değeri istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde artmıştır. Tahinlerin sürülebilirlik değerleri de beklendiği üzere sıklık değerleri ile ters bir korelasyon göstermiştir. Herhangi bir protein ilavesi yapılmayan tahinlerde sürülebilirlik değeri 23,79 g.s olarak tespit edilirken, modifiye edilmemiş, ultrases, yüksek basınçlı homojenizasyon ve yüksek hidrostatik basınç uygulanmış protein ilaveli tahinlerin kesme gerilimi değerleri sırasıyla 19,75; 21,21; 18,39 ve 19,10 g.s olarak belirlenmiştir.

Tahin örneklerin akış özelliklerinin incelendiği aşamada tüm örneklerin akış özelliklerinin power-law modeline  $R^2 > 0,99$  düzeyinde uygun olduğu tespit edilmiştir. Protein ilave edilmemiş tahinlerde depo modülü kayıp modülünden yaklaşık 10 kat düşük çıkmıştır. Bu durum tahinin sıvıya yakın zayıf bir viskoelastik karakter sergilediğini göstermektedir. Ancak tahinlere susam proteini ilave edilmesi ile depo modülünde 10000 kattan daha fazla miktarda artış tespit edilmiştir. Protein ilaveli tahinlerde depo modülünün kayıp modülünden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum protein ilavesi ile tahinin katı benzeri güçlü bir viskoelastik yapı sergilediğini göstermektedir. Elde edilen bu sonuç tahinlerde uygulanan sürülebilirlik analizi

sonuçları ile de paralellik göstermektedir. Viskoelastik karakterdeki bu ciddi gelişme proteinlerin tahinin içinde su ve yağı tutarak emülsiyon jeller oluşturması ile ilişkilendirilebilir.

Tahin örneklerinin eğitilmiş panelistler tarafından duyu özelliklerinin değerlendirildiği aşamada tahine protein ilavesi görünüş ve doku özelliğinin daha fazla beğenilmesine neden olurken, lezzet özelliğinde aksine olumsuzluğa neden olmuştur. Görünüş özelliği açısından en az beğenilen örnek kontrol örneği olurken en fazla beğenilen örnek yüksek basınçlı homojenizasyon uygulaması ile modifiye edilmiş protein ilaveli örnek olmuştur. Bununla birlikte modifiye edilmemiş protein ilavesi de tahin örneğinin görünüş özelliğinin iyileşmesinde rol oynamıştır. Benzer eğilim doku özelliğinde de saptanmış olup kontrol örneğine kıyasla protein ilaveli örnekler daha yüksek puan almıştır.

Tahin örnekleri 4°C, 25°C ve 40°C’de 180 gün boyunca depolanmış ve yağ ayrılması, oksidatif stabilite ve renk özellikleri incelenmiştir. Hızlandırılmış yağ ayrılması analizi sonucu ile uyumlu olarak 4°C, 25°C ve 40°C’de depolanan örneklerde en fazla yağ ayrılması kontrol örneğinde gözlenmiş, tahine protein ilavesi yağ ayrılmasını azaltmıştır. Buzdolabı koşullarında depolanan bütün tahin örneklerinde faz ayrımı 90. güne kadar hızlı gerçekleşmiş daha sonra faz ayrımı yavaşlamıştır. Faz ayrımı 25°C sıcaklıkta 60. günden, 40°C sıcaklıkta ise 50. günden itibaren azaldığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte 4 °C’de faz ayrımı denge noktasına kontrol ve modifiye olmamış protein ilaveli örneklerde 135. günde ulaşırken modifiye protein ilaveli tahin örneklerinde ise 120. günde ulaşmıştır.

Tahin örneklerinin farklı sıcaklıklarda depolama süresince meydana gelen oksidatif stabilitesinin belirlenmesinde serbest yağ asidi ve peroksit analizleri dikkate alınmıştır. Depolamanın başlangıcında örneklerde serbest yağ asitliği %0,74 ile %0,82 arasında tespit edilmiştir. Depolamanın başlangıcında kontrol örneğinin serbest yağ asidi değerleri protein ilaveli tahin örneklerinden daha düşük bulunmuştur. Bu durumun muhtemelen ilave edilen proteinin yaklaşık %1 civarında yağ içermesinden kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Türk Gıda Kodeksi Tahin Tebliği’ne göre tahinde bulunmasına izin verilen maksimum asitlik değeri %2,4 olup yağ asitliği açısından

tahin örnekleri tebliğe uygun bulunmuştur. Depolama süresine bağlı olarak tahin örneklerinin serbest yağ asidi değerlerinde artış olduğu gözlemlenirken protein ilave edilen tahin örneklerindeki değişimin kontrol örneğine göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Son aşama olarak tahin örneklerinin faz ayrımı, serbest yağ asitliği ve peroksitteki değişikliklerin açıklanmasında 0. ve 1. dereceden reaksiyon kinetiği modelleri uygulanmıştır. Depolama süresince farklı sıcaklıklarda depolanan örneklerde faz ayrımı, serbest yağ asidi ve peroksit değerleri için anlamlı sonuç elde edilmiş olup 1. derece kinetik modelin uygun olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak soğuk pres susam kekinden ekstrakte edilen ve üç farklı ısıl olmayan yenilikçi teknolojiler ile modifiye edilen modifiye susam protein izolatlarının model gıda olarak tahine ilave edilmesiyle tahin örneklerine ait yapısal problem olan faz ayrımının en az %20 oranında azaltılması sağlanmıştır. Bununla birlikte YBH uygulaması ile modifiye edilen susam protein izolatının tahine ilavesi gerek faz ayrımı ve gerekse ürün kalitesi açısından diğer modifikasyon yöntemlerine kıyasla gıda endüstrisinde kullanılması için daha büyük bir potansiyel sağlamaktadır.

## KAYNAKLAR

- Abbas, S., Sharif, M. K., Sibte-Abbas, M., Fikre Teferra, T., Sultan, M. T., & Anwar, M. J. (2022). Nutritional and therapeutic potential of sesame seeds. *Journal Of Food Quality*, 2022.
- Abo Khashaba, A. M., Shaltout, O. E., El-Difrawy, E. A., & El-Sorady, M. E. I. (2014). Effect of some heat treatments on chemical composition and oil characteristics of sesame seeds (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Food and Dairy Sciences*, 5(10), 701-716.
- Abou-Gharbia, H. A., Shehata, A. A. Y., Youssef, M., & Shahidi, F. (1996). Oxidative stability of sesame paste (tehina). *Journal of Food Lipids*, 32(2), 129-137.
- Achouri, A., Nail, V. & Boye, J. I. (2012). Sesame protein isolate: Fractionation, secondary structure and functional properties. *Food Research International*, 46(1), 360-369.
- Ahmed, J., Al-Ruwaih, N., Mulla, M., & Rahman, M. H. (2018). Effect of high pressure treatment on functional, rheological and structural properties of kidney bean protein isolate. *LWT-Food Science and Technology*, 91, 191-197.
- Akbulut, M., & Oklar, 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.
- Akçaözöğlü, E., & Aliğaoglu, A. (2019). Bozkır (Konya) ilçesinde tahin üretimi: özellikler ve sorunlar. *Eastern Geographical Review*, 24(1), 1-14.
- Alaouie, Z., Hallal, N., Alkhatib, A., & Khachfe, H. M. (2017). Assessing the microbial quality of tahini (sesame paste) in Lebanon. *Global Health* 6(c), 20-25.
- 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), e12896.
- Al-Nabulsi, A. A., Olaimat, A. N., Osaili, T. M., Shaker, R. R., Zein Elabedeen, N., Jaradat, Z. W., Abushelaibi, A., & Holley, R. A. (2014). Use of acetic and citric acids to control *Salmonella typhimurium* in tahini (sesame paste). *Food Microbiology*, 42, 102-108.
- Alpaslan, M., & Hayta, M. (2002). Rheological and sensory properties of pekmez (grape molasses)/tahin (sesame paste) blends. *Journal of Food Engineering*, 54(1), 89-93.

- Ampofo, J., & Ngadi, M. (2022). Ultrasound-assisted processing: Science, technology and challenges for the plant-based protein industry. *Ultrason Sonochemistry*, 84, 105955.
- Anonim. (2022). Ulusal gıda kompozisyon veri tabanı. Erişim Tarihi: 2 Mayıs 2022, <http://www.turkomp.gov.tr>
- Anonymous, (2000). Official Methods Of Analysis. Arlington, Va: Association Of Official Analytical Chemists.
- AOAC. (2000). In: Official methods of analysis. 17th ed. Gaithersburg, Md.: AOAC.
- Ardhani, F. A. K., Safithri, M., Tarman, K., & Setyaningsih, I. (2019). Antioxidant activity of collagen from skin of parang-parang fish (*Chirocentrus dorab*) using Dpph and cuprac methods. In *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science*, 241 (1). Iop Publishing.
- Arzeni, C., Martínez, K., Zema, P., Arias, A., Pérez, O. E., & Pílosof, A. M. R. (2012). Comparative study of high intensity ultrasound effects on food proteins functionality. *Journal of Food Engineering*, 108(3), 463-472.
- Ashaolu, T. J. (2020). Applications of soy protein hydrolysates in the emerging functional foods: A review. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(2), 421-428.
- Ashokkumar, M. (2015). Applications of ultrasound in food and bioprocessing. *Ultrason Sonochemistry*, 25, 17-23.
- Augusto, P. E., Ibarz, A., & Cristianini, M. (2012). Effect of high pressure homogenization (HPH) on the rheological properties of tomato juice: time-dependent and steady-state shear. *Journal of Food Engineering*, 111(4), 570-579.
- Aydemir, O. (2019). Yeni bir ürün–kakaolu kestane kreması üretiminde kavurma sıcaklığının etkisi. *Gıda*, 44 (4), 576-584.
- Baskıncı, T., & Gul, O. (2023). Modifications to structural, techno-functional and rheological properties of sesame protein isolate by high pressure homogenization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 250, 126005.
- Basu, S., & Shivhare, U. S. (2010). Rheological, textural, micro-structural and sensory properties of mango jam. *Journal of Food Engineering*, 100(2), 357-365.
- Başdoğan, H. (2016). Tahinlerdeki faz ayrımı ve reolojik özellikler üzerine ultrases işleminin etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Batu, A., & Batu, H. S. (2020). The place of sesame and tahini in Turkish gastronomy. *Aydın Gastronomy*, 4(2), 83-100.

- Batu, A., & Elyıldırım, F. (2009). Geleneksel helva üretim teknolojisi. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(3) 32-43
- Baydar, H. (1997). Türkiye susam popülasyonlarında bazı özelliklerin varyasyonu ve verim ile kalite tipi hat geliştirme olanakları. Doktora Tezi, *Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Antalya.
- Beran, M., Drahorad, J., Vltavsky, O., Urban, M., Laknerova, I., Fronek, M., Sova, J., Ondracek, J., Ondrackova, L., Kralova, M., & Formankova, S. (2018). Pilot-scale production and application of microparticulated plant proteins. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 8(1), 1-8.
- Berghout, J. A. M., Boom, R. M., & Van der Goot, A. J. (2015). Understanding the differences in gelling properties between lupin protein isolate and soy protein isolate. *Food Hydrocolloids*, 43, 465-472.
- Bhattacharjee, S. (2016). DLS and zeta potential - What they are and what they are not? *Journal of Control Release*, 235, 337-351.
- 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(5), 585-596.
- Bouaouina, H., Desrumaux, A., Loisel, C., & Legrand, J. (2006). Functional properties of whey proteins as affected by dynamic high-pressure treatment. *International Dairy Journal*, 16(4), 275-284.
- Boye, J., Zare, F., & Pletch, A. (2010). Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food Research International*, 43(2), 414-431.
- 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.
- Capellini, M. C., Chiavoloni, L., Giacomini, V., & Rodrigues, C. E. (2019). Alcoholic extraction of sesame seed cake oil: Influence of the process conditions on the physicochemical characteristics of the oil and defatted meal proteins. *Journal of Food Engineering*, 240, 145-152.
- Chen, J., Li, X., Kong, B., Chen, Q., & Liu, Q. (2022). Comparative study of protein-lipid co-oxidation in whey protein isolate-stabilised oil-in-water emulsions prepared by different homogenisation methods. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 633, 127916.
- Chen, W., Wang, W., Ma, X., Lv, R., Watharkar, R. B., Ding, T., ... & Liu, D. (2019). Effect of pH-shifting treatment on structural and functional properties of whey protein isolate and its interaction with (-)-epigallocatechin-3-gallate. *Food Chemistry*, 274, 234-241.

- Chen, X., Xu, X., & Zhou, G. (2016). Potential of high pressure homogenization to solubilize chicken breast myofibrillar proteins in water. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 33, 170-179.
- Chen, X., Zhou, R., Xu, X., Zhou, G., & Liu, D. (2017). Structural modification by high-pressure homogenization for improved functional properties of freeze-dried myofibrillar proteins powder. *Food Research International*, 100, 193-200.
- Cui, C., Liu, Y., Liu, Y., Cui, X., Sun, Z., Du, Z., ... & Zheng, Y. (2021). Genome-wide association study of seed coat color in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Plos One*, 16(5), e0251526.
- Çakmakçı, S., & Gökçalp, H. Y. (1992). Gıdalarda kısaca oksidasyon; antioksidantlar ve gıda sanayiinde kullanımları. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 23 (2), 174-192
- Çavuşoğlu, Y. Ç. (2017). Tahin Üretimi Sırasında Fiziksel, Kimyasal ve Antioksidan Özelliklerdeki Değişim. Yüksek Lisans Tezi. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Samsun.
- Çetiner, M., & Bilek, S. E. (2018). Bitkisel protein kaynakları. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 33(2), 111-126.
- 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.
- D'Alessio, G., Flamminii, F., Faieta, M., Prete, R., Di Michele, A., Pittia, P., & Di Mattia, C. D. (2023). High pressure homogenization to boost the technological functionality of native pea proteins. *Current Research in Food Science*, 6, 100499.
- Damodaran, S., & Sengupta, T. (2003). Dynamics of competitive adsorption of  $\beta$ -casein and-casein at the oilwater interface: Evidence for incompatibility of mixing at the interface. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 1658-1665.
- Dehnad, D., Emadzadeh, B., Ghorani, B., & Rajabzadeh, G. (2023). High hydrostatic pressure (HHP) as a green technology opens up a new possibility for the fabrication of electrospun nanofibers: Part I-improvement of soy protein isolate properties by HHP. *Food Hydrocolloids*, 140, 108659.
- Dinçer, K. K. (2022). Konvansiyonel ve Organik Tahin Üretimi Sırasında Bazı Fizikokimyasal Özelliklerdeki Değişimlerin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ.
- Ding, Q., Liu, X., Sang, Y., Tian, G., Wang, Z., & Hou, Y. (2022). Characterization and emulsifying properties of mantle proteins from scallops (*Patinopecten yessoensis*) treated by high hydrostatic pressure treatment. *LWT-Food Science and Technology*, 167, 113865.

- El Nasri, N. A., & El Tinay, A. H. (2007). Functional properties of fenugreek (*Trigonella foenum graecum*) protein concentrate. *Food Chemistry*, 103(2), 582-589.
- 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). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(1), 215-221.
- 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.
- Fernandez-Avila, C., & Trujillo, A. J. (2016). Ultra-high pressure homogenization improves oxidative stability and interfacial properties of soy protein isolate-stabilized emulsions. *Food Chemistry*, 209, 104-113.
- Franzen, K. L., & Kinsella, J. E. (1976). Functional properties of succinylated and acetylated soy protein. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 24(4), 788-795.
- Gao, K., Rao, J., & Chen, B. (2022). Unraveling the mechanism by which high intensity ultrasound improves the solubility of commercial pea protein isolates. *Food Hydrocolloids*, 131, 107823.
- Ghaly, A. E. & Alkoaik, F. N. (2010). Extraction of protein from common plant leaves for use as human food. *American Journal of Applied Sciences*, 7(3), 331-342.
- 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.
- 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.
- 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), 624-630.
- Gul, O., Saricaoglu, F. T., Atalar, I., Gul, L. B., Tornuk, F., & Simsek, S. (2023). Structural characterization, technofunctional and rheological properties of sesame proteins treated by high-intensity ultrasound. *Foods*, 12(9), 1791.
- Gul, O., Saricaoglu, F. T., Mortas, M., Atalar, I., & Yazici, F. (2017). Effect of high pressure homogenization (HPH) on microstructure and rheological properties of hazelnut milk. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 41, 411-420.

- 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.
- Guo, Z., Huang, Z., Guo, Y., Li, B., Yu, W., Zhou, L., ... & Wang, Z. (2021). Effects of high-pressure homogenization on structural and emulsifying properties of thermally soluble aggregated kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) proteins. *Food Hydrocolloids*, 119, 106835.
- Gürsoy, O., Kınık, Ö., & Akbulut, N. (2003). Protein-lipit interaksyonları ve bunların süt ve süt ürünlerindeki önemi. *Akademik Gıda*, 1(3), 14-19.
- Han, T., Wang, M., Wang, Y., Tang, L., 2020. Effects of high-pressure homogenization and ultrasonic treatment on the structure and characteristics of casein. *LWT-Food Science and Technology*, 130, 109560.
- He, R., He, H. Y., Chao, D., Ju, X., & Aluko, R. (2014). Effects of high pressure and heat treatments on physicochemical and gelation properties of rapeseed protein isolate. *Food and Bioprocess Technology*, 7, 1344-1353.
- Hou, L., Li, C., & Wang, X. (2020). The colloidal and oxidative stability of the sesame pastes during storage. *Journal of Oleo Science*, 69(3), 191-197.
- Hu, S., Gao, H., Ouyang, L., Li, X., Zhu, S., Wu, Y., Yuan, L., & Zhou, J. (2023). Mechanistic insights into the improving effects of germination on physicochemical properties and antioxidant activity of protein isolate derived from black and white sesame. *Food Chemistry*, 429, 136833.
- Jambrak, A. R., Lelas, V., Mason, T. J., Krešić, G., & Badanjak, M. (2009). Physical properties of ultrasound treated soy proteins. *Journal of Food Engineering*, 93(4), 386-393.
- Jambrak, A. R., Mason, T. J., Lelas, V., Herceg, Z., & Herceg, I. L. (2008). Effect of ultrasound treatment on solubility and foaming properties of whey protein suspensions. *Journal of Food Engineering*, 86(2), 281-287.
- Jiang, L., Wang, J., Li, Y., Wang, Z., Liang, J., Wang, R., Chen, Y., Ma, W., Qi, B., Zhang, M., 2014. Effects of ultrasound on the structure and physical properties of black bean protein isolates. *Food Research International*, 62, 595–601.
- Jiang, S., Ding, J., Andrade, J., Rababah, T. M., Almajwal, A., Abulmeaty, M. M., & Feng, H. (2017). Modifying the physicochemical properties of pea protein by pH-shifting and ultrasound combined treatments. *Ultrasonics Sonochemistry*, 38, 835-842.
- Jiang, S., Wang, T., Chen, K., Wang, H. & Meng, X. (2023). Assessment of the effect of glycation on the allergenicity of sesame proteins. *Food Research International*, 168, 112771.

- Jin, L., Guo, Q., Zhang, M., Xu, Y. T., Liu, H. M., Ma, Y. X., ... & Hou, L. X. (2022b). Effects of non-lipid components in roasted sesame seed on physicochemical properties of sesame paste. *LWT-Food Science and Technology*, 165, 113745.
- Jin, L., Zhao, X. J., Zhao, Y., Gao, S. A., Liu, H. M., Ma, Y. X., ... & Hou, L. X. (2022a). Physicochemical properties of the sesame paste produced by a novel process technology-ball milling. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(11), 7254-7266.
- Julakanti, S., Charles, A. P. R., Zhao, J., Bullock, F., Syed, R., Myles, Y., & Wu, Y. (2023). Hempseed protein (*Cannabis sativa* L.): Influence of extraction pH and ball milling on physicochemical and functional properties. *Food Hydrocolloids*, 143, 108835.
- 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.
- Kinsella, J. E. (1979). Functional properties of soy proteins. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 56(3Part1), 242-258.
- Klompong, V., Benjakul, S., Kantachote, D., & Shahidi, F. (2007). Antioxidative activity and functional properties of protein hydrolysate of yellow stripe trevally (*Selaroides leptolepis*) as influenced by the degree of hydrolysis and enzyme type. *Food Chemistry*, 102(4), 1317-1327.
- Kömez, E. (2002). Tahin üretimi için uygun koşulların belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı*, Ankara.
- Labban, L., & Sumainah, G. (2021). The nutritive and medicinal properties of tahini: A Review. *International Journal of Nutrition Sciences*, 6(4), 172-179.
- Lee, J., Lee, Y., & Choe, E. (2007) Temperature dependence of the autoxidation and antioxidants of soybean, sunflower, and olive oil. *European Food Research and Technology*, 226, 239-246
- Levy, R., Okun, Z., Davidovich-Pinhas, M., & Shpigelman, A. (2021). Utilization of high-pressure homogenization of potato protein isolate for the production of dairy-free yogurt-like fermented product. *Food Hydrocolloids*, 113, 106442.
- Li, X., Ye, C., Tian, Y., Pan, S., & Wang, L. (2018). Effect of ohmic heating on fundamental properties of protein in soybean milk. *Journal of Food Process Engineering*, 41(3), e12660.
- List, GR., Wang, T., & Shukla VKS (2005) Storage, handling, and transport of oils and fats. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. Wiley, New York

- Liu, J., Ru, Q., & Ding, Y. (2012). Glycation a promising method for food protein modification: Physicochemical properties and structure, a review. *Food Research International*, 49(1), 170-183.
- 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.
- Luo, L., Cheng, L., Zhang, R., & Yang, Z. (2022). Impact of high-pressure homogenization on physico-chemical, structural, and rheological properties of quinoa protein isolates. *Food Structure*, 32, 100265.
- Luo, L., Wang, Z., Deng, Y., Wei, Z., Zhang, Y., Tang, X., ... & Li, P. (2022). High-pressure homogenization: A potential technique for transforming insoluble pea protein isolates into soluble aggregates. *Food Chemistry*, 397, 133684.
- Lv, S., Taha, A., Hu, H., Lu, Q., & Pan, S. (2019). Effects of ultrasonic-assisted extraction on the physicochemical properties of different walnut proteins. *Molecules*, 24(23), 4260.
- Ma, X., Wang, Z., Zheng, C., & Liu, C. (2022). A comprehensive review of bioactive compounds and processing technology of sesame seed. *Oil Crop Science*, 7(2), 88-94.
- Manassero, C. A., Beaumal, V., Vaudagna, S. R., Speroni, F., & Anton, M. (2018). Calcium addition, pH and high hydrostatic pressure effects on soybean protein isolates-Part 2: Emulsifying properties. *Food and Bioprocess Technology*, 11, 2079-2093.
- Mathews, A., Tangirala, A. S., Kumar, S., Anandharaj, A., & Rawson, A. (2023). Extraction and modification of protein from sesame oil cake by the application of emerging technologies. *Food Chemistry Advances*, 2, 100326.
- Melchior, S., Moreton, M., Calligaris, S., Manzocco, L., & Nicoli, M. C. (2022). High pressure homogenization shapes the techno-functionalities and digestibility of pea proteins. *Food and Bioproducts Processing*, 131, 77-85.
- Meng, X., Li, T., Song, T., Chen, C., Venkitasamy, C., Pan, Z., & Zhang, H. (2019). Solubility, structural properties, and immunomodulatory activities of rice dreg protein modified with sodium alginate under microwave heating. *Food Science & Nutrition*, 7(8), 2556-2564.
- Moure, A., Sineiro, J., Domínguez, H., & Parajó, J. C. (2006). Functionality of oilseed protein products: A review. *Food Research International*, 39(9), 945-963.
- Mureşan, V., Danthine, S., Mureşan, A. E., Racolţa, E., Blecker, C., Muste, S., ... & Baeten, V. (2016). In situ analysis of lipid oxidation in oilseed-based food products using near-infrared spectroscopy and chemometrics: The sunflower kernel paste (tahini) example. *Talanta*, 155, 336-346.

- Mureşan, V., Danthine, S., Bolboacă, S. D., Racolţa, E., Muste, S., Socaciu, C., & Blecker, C. (2015). Roasted sunflower kernel paste (tahini) stability: Storage conditions and particle size influence. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 92(5), 669-683.
- Nagar, P., Agrawal, M., & Agrawal, K. (2022). Sesame (*Sesamum indicum* L.) seed as a functional food: A review. *The Pharma Innovation Journal*, 11(9), 893-896.
- Nikbakht Nasrabadi, M., Sedaghat Doost, A., & Mezzenga, R. (2021). Modification approaches of plant-based proteins to improve their techno-functionality and use in food products. *Food Hydrocolloids*, 118, 106789.
- O'Sullivan, J., Arellano, M., Pichot, R., & Norton, I. (2014). The effect of ultrasound treatment on the structural, physical and emulsifying properties of dairy proteins. *Food Hydrocolloids*, 42, 386-396.
- O'sullivan, J., Murray, B., Flynn, C., & Norton, I. (2016). The effect of ultrasound treatment on the structural, physical and emulsifying properties of animal and vegetable proteins. *Food Hydrocolloids*, 53, 141-154.
- Ogutcu, M., Arıföglü, 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
- Ong, K. S., Chiang, J. H., Sim, S. Y. J., Liebl, D., Madathummal, M., & Henry, C. J. (2022). Functionalising insoluble pea protein aggregates using high-pressure homogenisation: Effects on physicochemical, microstructural and functional properties. *Food Structure*, 34, 100298.
- Onsaard, E. (2012). Sesame proteins. *International Food Research Journal* 19(4), 1287-1295.
- Ölmez, Y. A., & Sevilmiş, D. (2021). Importance of oilseed crop sesame (*Sesamum indicum* L.): A review. *Muş Alparslan University Journal of Agriculture and Nature*, 1(2), 86-97.
- Özcan, M. (1993). Susam, susam yağı ve tahinde fiziksel-kimyasal analizler ve yağ asitleri bileşiminin 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.
- Özcan, T., & Delikanlı, B. (2011). Gıdaların tekstürel özelliklerinin geliştirilmesinde peynir altı suyu protein katkılarının fonksiyonel etkileri. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25 (2), 77-88.
- Paglarini, C. S., Martini, S., & Pollonio, M. A. (2019). Physical properties of emulsion gels formulated with sonicated soy protein isolate. *International Journal of Food Science & Technology*, 54(2), 451-459.

- Perreault, V., Henaux, L., Bazinet, L., & Doyen, A. (2017). Pretreatment of flaxseed protein isolate by high hydrostatic pressure: Impacts on protein structure, enzymatic hydrolysis and final hydrolysate antioxidant capacities. *Food Chemistry*, 221, 1805-1812.
- Peyrano, F., Speroni, F., & Avanza, M. V. (2016). Physicochemical and functional properties of cowpea protein isolates treated with temperature or high hydrostatic pressure. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 33, 38-46.
- Rababah, T., Al-U'datt, M. U., Al-Mahasneh, M. A., 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.
- Resendiz-Vazquez, J. A., Ulloa, J. A., Urías-Silvas, J. E., Bautista-Rosales, P. U., Ramírez-Ramírez, J. C., Rosas-Ulloa, P., & González-Torres, L. J. U. S. (2017). Effect of high-intensity ultrasound on the technofunctional properties and structure of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) seed protein isolate. *Ultrasonics Sonochemistry*, 37, 436-444.
- Sá, A. G. A., Pacheco, M. T. B., Moreno, Y. M. F., & Carciofi, B. A. M. (2022). Cold-pressed sesame seed meal as a protein source: Effect of processing on the protein digestibility, amino acid profile, and functional properties. *Journal of Food Composition and Analysis*, 111, 104634.
- Saatchi, A., Kiani, H., & Labbafi, M. (2022). Stabilization activity of a new protein-carbohydrate complex in sesame paste: Rheology, microstructure, and particle size analysis. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(12), 5523-5530.
- Saldamlı, İ. (2017). *Gıda Kimyası*. 6, Ankara: Hacettepe Üniversitesi.
- Saricaoglu, F. T., Gul, O., Besir, A., & Atalar, I. (2018). Effect of high pressure homogenization (HPH) on functional and rheological properties of hazelnut meal proteins obtained from hazelnut oil industry by-products. *Journal of Food Engineering*, 233, 98-108.
- Sathe, S. K., Deshpande, S. S., & Salunkhe, D. K. (1982). Functional properties of winged bean (*Psophocarpus tetragonolobus* (L.) DC) proteins. *Journal of Food Science*, 47(2), 503-509.
- Shakerardekani, A., Karim, R., Ghazali, H. M., & Chin, N. L. (2013). Textural, rheological and sensory properties and oxidative stability of nut spreads-a review. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(2), 4223-4241.
- Sharma, L., & Singh, C. (2016). Sesame protein based edible films: Development and characterization. *Food Hydrocolloids*, 61, 139-147.

- Shen, X., Fang, T., Gao, F., & Guo, M. (2017). Effects of ultrasound treatment on physicochemical and emulsifying properties of whey proteins pre-and post-thermal aggregation. *Food Hydrocolloids*, 63, 668-676.
- Shevkani, K., Singh, N., Kaur, A., & Rana, J. C. (2015). Structural and functional characterization of kidney bean and field pea protein isolates: A comparative study. *Food Hydrocolloids*, 43, 679–689.
- Shi, R., Liu, Y., Hu, J., Gao, H., Qayum, A., Bilawal, A., ... & Hou, J. (2020). Combination of high-pressure homogenization and ultrasound improves physiochemical, interfacial and gelation properties of whey protein isolate. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 65, 102450.
- Singh, R. P., Chidambara Murthy, K. N. & Jayaprakasha, G. K. (2002). Studies on the antioxidant activity of pomegranate (*Punica Granatum*) peel and seed extracts using *in vitro* models. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(1), 81-86.
- Sohouli, M. H., Haghshenas, N., Hernández-Ruiz, Á. & Shidfar, F. (2022). Consumption of sesame seeds and sesame products has favorable effects on blood glucose levels but not on insulin resistance: A systematic review and meta-analysis of controlled clinical trials. *Phytotherapy Research*, 36(3), 1126-1134.
- Tang, C. H., & Ma, C. Y. (2009). Effect of high pressure treatment on aggregation and structural properties of soy protein isolate. *LWT-Food Science and Technology*, 42(2), 606-611.
- Tang, C. H., Wang, X. Y., Yang, X. Q., & Li, L. (2009). Formation of soluble aggregates from insoluble commercial soy protein isolate by means of ultrasonic treatment and their gelling properties. *Journal of Food Engineering*, 92(4), 432-437.
- Tang, S. Q., Du, Q. H., & Fu, Z. (2021). Ultrasonic treatment on physicochemical properties of water-soluble protein from *Moringa oleifera* seed. *Ultrasonics Sonochemistry*, 71, 105357.
- TGK. (2015). Türk Gıda Kodeksi Tahin Tebliği. Tebliğ No: 2015/27.
- Torlak, E., Sert, D., & Serin, P. (2013). Fate of Salmonella during sesame seeds roasting and storage of tahini. *International Journal of Food Microbiology*, 163(2-3), 214-217.
- Umar, U. A., Muntaqa, A. H., Muhammad, M. B., & Jantar, H. J. (2014). Productivity of sesame (*Sesamum indicum* L.) varieties as influenced by seed rate. *Pacific Journal of Sciences and Technical*, 15(2), 259-64.
- Villa, C., Costa, J., & Mafra, I. (2024). Sesame as a source of food allergens: clinical relevance, molecular characterization, cross-reactivity, stability toward processing and detection strategies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(14), 4746-4762.

- Wang, N., Zhou, X., Wang, W., Wang, L., Jiang, L., Liu, T., & Yu, D. (2021). Effect of high intensity ultrasound on the structure and solubility of soy protein isolate-pectin complex. *Ultrasonics Sonochemistry*, 80, 105808.
- Wei, P., Zhao, F., Wang, Z., Wang, Q., Chai, X., Hou, G., & Meng, Q. (2022). Sesame (*Sesamum Indicum* L.): A comprehensive review of nutritional value, phytochemical composition, health benefits, development of food, and industrial applications. *Nutrients*, 14(19), 4079.
- Wu, D., Tu, M., Wang, Z., Wu, C., Yu, C., Battino, M., ... & Du, M. (2020). Biological and conventional food processing modifications on food proteins: Structure, functionality, and bioactivity. *Biotechnology Advances*, 40, 107491.
- Xue, S., Xu, X., Shan, H., Wang, H., Yang, J., & Zhou, G. (2018). Effects of high-intensity ultrasound, high-pressure processing, and high-pressure homogenization on the physicochemical and functional properties of myofibrillar proteins. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 45, 354-360.
- Yan, J., Zhao, S., Xu, X., & Liu, F. (2024). Enhancing pea protein isolate functionality: A comparative study of high-pressure homogenization, ultrasonic treatment, and combined processing techniques. *Current Research in Food Science*, 8, 100653.
- Yavuz, M. & Özçelik, B. (2016). Bitkisel protein izolatlarının fonksiyonel özellikleri. *Akademik Gıda*, 14(4), 424-430.
- Yetkin, E. (2019). Tahinde faz ayrımı üzerine bazı liflerin ve lesitinin etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*. Samsun.
- Yu, C., Wu, F., Cha, Y., Zou, H., Bao, J., Xu, R., & Du, M. (2018). Effects of high-pressure homogenization on functional properties and structure of mussel (*Mytilus edulis*) myofibrillar proteins. *International Journal of Biological Macromolecules*, 118, 741-746.
- Yu, H., Zheng, Y., & Li, Y. (2013). Water adsorption isotherms and storage stability of freeze-dried bovine colostrum powder. *International Journal of Food Properties*, 16(8), 1764-1775.
- Yüzer, M. O. (2021). Susam proteinlerinden izolat eldesi ve elektrospinning yöntemi ile nanolif üretimi: Tahinde yağ ayrışması üzerine etkileri. Doktora Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Samsun.
- Yüzer, M.O., & Genççelep, H. (2022). Sesame seed protein: Amino acid, functional, and physicochemical profiles. *Foods and Raw Materials*, 11(1),72-83
- Zhao, M., Xiong, W., Chen, B., Zhu, J. & Wang, L. (2020). Enhancing the solubility and foam ability of rice glutelin by heat treatment at pH12: Insight into protein structure. *Food Hydrocolloids*, 103, 105626.

- Zhao, Z. K., Mu, T. H., Zhang, M., & Richel, A. (2018). Effect of salts combined with high hydrostatic pressure on structure and gelation properties of sweet potato protein. *LWT-Food Science and Technology*, 93, 36-44.
- Zheng, T., Li, X., Taha, A., Wei, Y., Hu, T., Fatamorgana, P. B., Zhang, Z., Liu, F., Xu, X., Pan, S., & Hu, H. (2019). Effect of high intensity ultrasound on the structure and physicochemical properties of soy protein isolates produced by different denaturation methods. *Food Hydrocolloids*, 97, 105216.
- Zhou, L., Zhang, W., Wang, J., Zhang, R., & Zhang, J. (2022). Comparison of oil-in-water emulsions prepared by ultrasound, high-pressure homogenization and high-speed homogenization. *Ultrasonics Sonochemistry*, 82, 105885.

