

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**MUHTELİF SUSAM VE TAHİN ÜRÜNLERİNİN MİNERAL
İÇERİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE ULTRASES KABUK SOYMA
İŞLEMİNİN SUSAMIN MİNERAL İÇERİĞİ ÜZERİNE ETKİSİ**

ÖMER FARUK KOÇAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Sibel YAĞCI (Tez Danışmanı)
Prof. Dr. Mustafa KIRALAN
Doç. Dr. Fatih Mehmet YILMAZ

BALIKESİR, EYLÜL - 2024

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Muhtelif Susam ve Tahin Ürünlerinin Mineral İçeriklerinin Belirlenmesi ve Ultrases Kabuk Soyma İşleminin Susamın Mineral İçeriği Üzerine Etkisi**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Ömer Faruk KOÇAK

Bu tez çalışması Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) tarafından (2023-108) numaralı proje ile desteklenmiştir.

ÖZET

MUHTELİF SUSAM VE TAHİN ÜRÜNLERİNİN MİNERAL İÇERİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE ULTRASES KABUK SOYMA İŞLEMİNİN SUSAMIN MİNERAL İÇERİĞİ ÜZERİNE ETKİSİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÖMER FARUK KOÇAK
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. SİBEL YAĞCI)

BALIKESİR, EYLÜL - 2024

Bu çalışmada ülkemizde kullanılan 28 adet yerel ve ithal susam tohumunda ve bu susam çeşitlerinden üretilerek satışa sunulan 21 adet tahin ürünüde ICP-MS yöntemi ile toplamda 20 farklı mineralin analizi gerçekleştirildi. Analiz edilen susam tohumlarında mineral içerikleri yerli ve ithal susam bazında çeşitlilik göstermekle birlikte kalsiyum, potasyum, fosfor ve magnezyum miktar olarak en çok bulunan minerallerdir. Susam numunelerinde bulunan ağır metallerin ortalama miktarları arsenik için 0,062, kurşun 0,075, kadmiyum 0,090, civa 0,113 ve antimon 0,172 mg/kg olarak tespit edilmiştir. İthal ve yerli susamdan üretilen tahin numunelerinin mineral içeriklerinin oldukça değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Türk Gıda Kodeksi Tahin Tebliğinde tahin için belirtilen değerler dikkate alındığında (Arsenik miktarı en çok 0,2 mg/kg, kurşun en çok 0,3 mg/kg, bakır en çok 18 mg/kg ve demir ise en çok 75 mg/kg); arsenik ve kurşun miktarlarının tüm numunelerde limit altında olduğu, bakır miktarının dört numunede ve demir miktarının ise yedi numunede değerlendirme limitinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Tez çalışmasında ayrıca ultrases yöntemi farklı genlik (%50 - 100) ve süre (5, 10 ve 15 dk.) değişkenleri kullanılarak susam tohumlarında kabuk soyma amacı ile kullanılmış ve bu kabuk soyma işleminin susamın mineral içeriği üzerine etkileri araştırılmıştır. Ultrases yöntemi geleneksel yöntem sonucu uzaklaşan kabuk oranı (%) değerine kıyasla susamda uzaklaşan kabuk oranını Muğla susamında yaklaşık %76'ya; Togo susamında %83'e kadar artırmıştır. Çalışmada artan süre ve genlik seviyelerine bağlı olarak susam tohumunun ağır metal içeriğinde azalma; magnezyum, fosfor, potasyum, kalsiyum, bakır, çinko, selenyum, alüminyum ve krom içeriğinde artış; demir, kalay, mangan, bor ve nikel minerallerinin miktarında ise azalma meydana gelmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: ICP-MS, ultrases, susam, tahin, mineral analizi

Bilim Kod / Kodları : 90806

Sayfa Sayısı : 71

ABSTRACT

DETERMINATION OF MINERAL CONTENT OF VARIOUS SESAME AND TAHINI PRODUCTS AND THE EFFECT OF ULTRASOUND DEHULLING METHOD ON THE MINERAL CONTENT OF SESAME

MSC THESIS

ÖMER FARUK KOÇAK

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

FOOD ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR. SİBEL YAĞCI)

BALIKESİR, SEPTEMBER - 2024

In this study, a total of 20 different minerals were analyzed using the ICP-MS method in 28 domestic and imported sesame seeds used in our country and also in 21 tahini products produced from these sesame varieties and offered for sale. Although the mineral contents of analyzed sesame seeds vary based on local and imported sesame, calcium, potassium, phosphorus and magnesium are the most abundant minerals. The average values of heavy metals in sesame samples were determined as arsenic 0,062, lead 0,075, cadmium 0,090, mercury 0,113 and antimony 0,172 mg/kg. It was determined that the mineral contents of tahini samples produced from imported and domestic sesame seeds varied considerably. Considering the values given for tahini in the Turkish Food Codex Tahini Communiqué (maximum amount of arsenic is 0,2 mg/kg, maximum amount of lead is 0,3 mg/kg, maximum amount of copper is 18 mg/kg, and maximum amount of iron is 75 mg/kg); it was determined that arsenic and lead results were appropriate in all samples, four samples in copper analysis and seven samples in iron analysis were above the evaluation limit. In the thesis study, the ultrasound method was also used for dehulling of sesame seeds using different amplitude (50% -100%) and duration (5, 10 and 15 min) variables and the effects of this dehulling process on the mineral content of sesame were investigated. The ultrasound method increased the rate of shell removal in sesame seeds up to approximately 76% in Muğla sesame seeds and 83% in Togo sesame seeds compared to the rate of shell removal (%) as a result of the traditional method. As a result of the study, depending on the increasing duration and amplitude levels, there was a decrease in the heavy metal content of sesame seeds, an increase in the contents of magnesium, phosphorus, potassium, calcium, copper, zinc, selenium, aluminum and chromium, and a decrease in the contents of iron, tin, manganese, boron and nickel.

KEYWORDS: ICP-MS, ultrasound, sesame, tahini, mineral analysis

Science Code / Codes : 90806

Page Number : 71

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1 Susam Bitkisi ve Tarımı.....	3
2.1.1 Susam Tohumunun Kimyasal İçeriği.....	4
2.1.2 Ülkemizde ve Dünyada Susam Üretimi.....	6
2.1.3 Susamdan Üretilen Başlıca Ürünler.....	6
2.2 ICP-MS Yöntemi ile Mineral Analizi	9
2.2.1 ICP-MS Çalışma Prensibi	9
2.2.2 Gıdalarda Bulunan Minerallerin Sınıflandırılması	9
2.3 Ultrases Teknolojisi	11
2.4 Susam ve Tahinde Önceki Çalışmalar	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM	19
3.1 Materyal	19
3.2 Susam Analizleri	20
3.2.1 Yabancı Madde Analizi	20
3.2.2 Bozuk Tane Analizi	21
3.2.3 Nem Analizi	21
3.2.4 Toplam Kül Analizi	22
3.2.5 %10'luk Hidroklorik Asitte Çözünmeyen Kül Analizi	22
3.3 Tahin Analizleri	23
3.3.1 Nem Analizi	23
3.3.2 Protein Analizi	23
3.3.3 Yağ Analizi	23
3.3.4 Kül Analizi.....	24
3.4 Susam ve Tahin Örneklerinde Mineral Analizleri	24
3.5 Susam Tohumunda Kabuk Soyma.....	26
3.5.1 Geleneksel Yöntem ile Kabuk Soyma	26
3.5.2 Ultrases Yöntemi ile Kabuk Soyma.....	27
3.5.3 Mineral Analizi	28
3.6 İstatistiksel Analiz.....	28
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	29
4.1 Susam Numunelerinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	29
4.2 Susam Numunelerinin Mineral Analiz Sonuçları	31
4.3 Tahin Numunelerinin Kimyasal Özellikleri.....	38
4.4 Tahin Numunelerinin Mineral Analiz Sonuçları	40

4.5 Ultrases Yöntemi ile Susam Kabuğunun Soyulması	44
4.6 Ultrases Yöntemi ile İşlenmiş Susamın Mineral İçeriği	44
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	53
6. KAYNAKLAR	55
EKLER	60
EK A: Tez Çalışmasında Kullanılan Susam ve Tahin Örneklerine Ait Resimler	61
EK B: İstatistik Analiz Sonuçları	65
EK C: Tez Çalışmasında Kullanılan Ekipmanlara İlişkin Görseller	69
ÖZGEÇMİŞ	71

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1: <i>Sesamum indicum</i> L.'nin farklı kısımları.....	4
Şekil 2.2: Tahin üretim akış şeması	7
Şekil 2.3: Helva üretim akış şeması	8
Şekil 4.1: Muğla susam tohumuna uygulanan geleneksel ve ultrases yöntem ile kabuk soyma işlemlerinin mikro mineral içeriğine etkisi.	50
Şekil 4.2: Togo susam tohumuna uygulanan geleneksel ve ultrases yöntem ile kabuk soyma işlemlerinin mikro mineral içeriğine etkisi	50
Şekil 4.3: Muğla susam tohumuna uygulanan geleneksel ve ultrases yöntem ile kabuk soyma işlemlerinin makro mineral içeriğine etkisi.....	51
Şekil 4.4: Togo susam tohumuna uygulanan geleneksel ve ultrases yöntem ile kabuk soyma işlemlerinin makro mineral içeriğine etkisi.....	51
Şekil 4.5: Muğla susam tohumuna uygulanan geleneksel ve ultrases yöntem ile kabuk soyma işlemlerinin ağır metal içeriğine etkisi	52
Şekil 4.6: Togo susam tohumuna uygulanan geleneksel ve ultrases yöntem ile kabuk soyma işlemlerinin ağır metal içeriğine etkisi	52
Şekil A.1: Susam tohumu numunelerinin görünüşleri	61
Şekil A.2: Tahin numunelerinin görünüşleri	64
Şekil C.1: ICP-MS	69
Şekil C.2: Mikrodalga yakma ünitesi.....	69
Şekil C.3: Mikrodalga yakma ünitesinde kullanılan ekipmanlar	70
Şekil C.4: Çalışmada kullanılan ultrases sistemi	70

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Susam tohumunun kimyasal içeriği (%)	5
Tablo 2.2: Susam tohum yağının yağ asidi bileşimi (%).....	6
Tablo 2.3: Gıdalarda düşük ve yüksek enerjili ultrases uygulamaları.....	12
Tablo 2.4: Gondar, Humera ve Wollega bölgesindeki susam tohumlarının mineral içeriği (mg/kg)	13
Tablo 2.5: Çeşitli proses aşamalarından geçen susam tohumunun mineral içeriği (mg/kg)	14
Tablo 2.6: Çin, Togo, Sudan, Mozambik ve Etiyopya bölgesindeki susam tohumlarının mineral içeriği (mg/kg)	15
Tablo 2.7: Etiyopya bölgesindeki susam tohumlarının kimyasal ve mineral içeriği.....	15
Tablo 2.8: Beyaz, siyah ve kahverengi susam tohumunun kimyasal ve mineral içeriği	16
Tablo 2.9: Tahin numunelerinin kimyasal ve mineral içeriği.....	18
Tablo 3.1: Çalışmada kullanılan susam numunelerinin çeşit ve tohum kabuk renkleri	19
Tablo 3.2: Çalışmada kullanılan tahin numuneleri ve bölgeleri.....	20
Tablo 3.3: ICP-MS çalışma şartları	25
Tablo 3.4: Ultrases cihazına ait bazı çalışma şartları	27
Tablo 4.1: Yerel susam tohumlarının fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları	30
Tablo 4.2: Susam tohumlarının mikro mineral içeriği (mg/kg).....	36
Tablo 4.3: Susam tohumlarının makro mineral ve ağır metal içeriği (mg/kg).....	37
Tablo 4.4: Susam tohumlarının THQ ve HI değerleri	38
Tablo 4.5: Tahin numunelerinin kimyasal içeriği (%)	39
Tablo 4.6: Tahin numunelerinin mikro mineral içeriği (mg/kg)	42
Tablo 4.7: Tahin numunelerinin makro mineral ve ağır metal içeriği (mg/kg) (TE: tespit edilemedi)	43
Tablo 4.8: Geleneksel ve ultrases yöntemi ile işlenmiş susamda uzaklaşan kabuk oranı (%)	44
Tablo 4.9: Geleneksel ve ultrases yöntemi ile işlenmiş susamda mikro mineral içeriği (mg/kg)	48
Tablo 4.10: Geleneksel ve ultrases yöntemi ile işlenmiş susam numunelerinin makro mineral ve ağır metal içeriği (mg/kg) (TE: Tespit edilememiştir).....	49
Tablo B.1: Yerli ve ithal susamların fiziksel ve kimyasal özellikleri istatistik analiz sonuçları.....	65
Tablo B.2: Yerli ve ithal susamların mikro mineral içeriği istatistik analiz sonuçları.....	65
Tablo B.3: Yerli ve ithal susamların makro mineral ve ağır metal içeriği istatistik analiz sonuçları.....	66
Tablo B.4: Yerli ve ithal susamlardan üretilen tahinlerin kimyasal içeriği istatistik analiz sonuçları.....	66
Tablo B.5: Yerli ve ithal susamlardan üretilen tahinlerin mikro mineral içeriği istatistik analiz sonuçları	66
Tablo B.6: Yerli ve ithal susam numunelerinden üretilen tahinlerin makro mineral ve ağır metal içeriği istatistik analiz sonuçları	67
Tablo B.7: Geleneksel yöntem ve ultrases yöntemi ile kabuğu soyulan Muğla susamının uzaklaşan kabuk oranı istatistik analiz sonuçları.....	67
Tablo B.8: Geleneksel yöntem ve ultrases yöntemi ile kabuğu soyulan Togo susamının uzaklaşan kabuk oranı istatistik analiz sonuçları.....	67

Tablo B.9: Geleneksel yöntem ve ultrases yöntemi ile kabuğu soyulan Muğla ve Togo susamının mikro mineral içeriği istatistik analiz sonuçları	67
Tablo B.10: Geleneksel yöntem ve ultrases yöntemi ile kabuğu soyulan Muğla ve Togo susamının makro mineral ve ağır metal içeriği istatistik analiz sonuçları	68
Tablo B.11: Ultrases yöntemi ile kabuğu soyulan Muğla ve Togo susamının mikro mineral içeriği istatistik analiz sonuçları	68
Tablo B.12: Geleneksel yöntem ve ultrases yöntemi ile kabuğu soyulan Togo susamının makro mineral ve ağır metal içeriği istatistik analiz sonuçları.....	68

SEMBOL LİSTESİ

Al	: Alüminyum
As	: Arsenik
B	: Bor
Ca	: Kalsiyum
Cd	: Kadmiyum
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
CuSO₄	: Bakır (II) sülfat
Fe	: Demir
HCl	: Hidroklorik asit
Hg	: Civa
H₂O₂	: Hidrojen peroksit
H₂SO₄	: Sülfirik asit
ICP-MS	: İndüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometrisi
K	: Potasyum
KHz	: Kilohertz
Mg	: Magnezyum
MHz	: Megahertz
Mn	: Mangan
m/m	: Ağırlıkça yüzde
Na	: Sodyum
NaOH	: Sodyum hidroksit
Na₂S₂O₃	: Sodyum tiyosülfat
NH₄	: Amonyum
Ni	: Nikel
P	: Fosfor
Pb	: Kurşun
ppm	: Milyonda bir birim
p<0,05	: İstatistikî açıdan %95 anlamlılık düzeyinde önemli
Sb	: Antimon
Se	: Selenyum
Sn	: Kalay
Zn	: Çinko

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimimin başlangıcından itibaren desteklerini esirgemeyen çok değerli danışmanım Prof. Dr. Sibel YAĞCI hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Yine eğitimim boyunca Balıkesir Gıda Kontrol Laboratuvar Müdürlüğü kurumumda çalışma imkânı sağlayan müdürümüz sayın İlhami İlhan'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Jüri üyeleri sayın Prof. Dr. Mustafa KIRALAN ve sayın Doç. Dr. Fatih Mehmet YILMAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın kaynağı olan susam ve tahin numunelerin temini konusunda desteklerini esirgemeyen TUNAS Gıda Pazarlama ve Tic. Ltd. Şti. çalışanlarına sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitim hayatım boyunca motivasyon kaynağım olan sevgili eşim Esmâ Nur KOÇAK'a, hayatımın her anında yardımlarını esirgemeyen sevgili babam Mustafa KOÇAK, annem Uygun KOÇAK ve ablam Zehra BAĞCI ve ayrıca tez çalışmam esnasında desteklerini esirgemeyen eşi Buğra BAĞCI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Balıkesir, 2024

Ömer Faruk KOÇAK

1. GİRİŞ

Susam tohumu içeriğinde bulunan yaklaşık %50 yağ ve %24 protein; fitokimyasal bileşenler, vitaminler ve mineraller açısından önemli bir gıda hammaddesidir. Susam çok önemli bir yağ bitkisi olmasına rağmen, ülkemizde üretilen ve ithal edilen susamın büyük bir bölümü tahin üretiminde ve fırıncılık sektöründe kullanılmaktadır. Bu ürünlerin üretiminde kullanılan susam ithal edilerek veya ülkemizde susam tarımı yapılan farklı bölgelerden temin edilebilmektedir. Bu susam çeşitleri gerek fiziksel (tane yapısı, boyutu ve rengi vb.) ve gerekse kimyasal özellikler (yağ ve protein içeriği, yağ asitleri dağılımı, mineral içerikleri vb.) açısından oldukça farklı özelliklerde olabilmektedir. Fiziksel ve kimyasal özellikler arasındaki farklılıklar çoğunlukla tarımsal uygulamadaki değişimlerden (sulama, gübre kullanımı, toprak şartları, ekim dikim özellikleri) ve kullanılan tohum çeşidinden kaynaklıdır.

Yapılan araştırmalarda susam tohumunun mineral içeriklerinin özellikle kabuk rengine bağlı olarak oldukça farklılık arz ettiği kaydedilmiştir. Bu mineraller arasında insan sağlığına faydalı potasyum, çinko, bakır ve magnezyum gibi mineraller olmasına karşın arsenik, kurşun gibi sağlığa zararlı mineraller de bulunabilmektedir. Susam tohumunun temizleme, kabuk soyma, kavurma ve ezme gibi aşamalardan geçirildikten sonra sıvı halde dolum yapılması yoluyla üretilen ürün tahin olarak isimlendirilmekte; bu ürün aynı zamanda tahin helvası üretiminde de kullanılmaktadır. Türk Gıda Kodeksi Tahin Tebliğinde (Tebliğ No:2015/27) tahinde bulunması gereken bazı mineraller açısından sınırlamalar bulunmaktadır. Bunlar; arsenik: 0,2 (en çok, mg/kg), kurşun: 0,3 (en çok, mg/kg), bakır: 18 (en çok, mg/kg) ve demir: 75 (en çok, mg/kg) mineralleridir. Tahinin mineral içeriği, kullanılan susam çeşidine bağlı olmakla birlikte; susamın işlenmesi sırasındaki temel işlem süreçlerine de (ıslatma, kabuk soyma) bağlıdır. Özellikle bölgesel olarak üretilen bazı tahin çeşitlerinde kabuk soyma işlemi yapılmadan tahin üretimi söz konusudur. Bu açıdan ülkemizde kullanılan ve tüketilen susam ve tahin ürünlerinin mineral içeriklerinin saptanması büyük önem arz etmektedir. Bu tez çalışmasında ülkemizde kullanılan bazı yerel ve ithal susam çeşitlerinin ve bu susam çeşitlerinden üretilerek satışa sunulan tahinlerin mineral içerikleri, bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri belirlenmiştir.

Bu tez çalışmasında ayrıca gıda teknolojisi alanında yenilikçi bir işleme yöntemi olan ultrases tekniği susam tohumunda kabuk soyma amacı ile kullanılmış ve ultrases tekniği ile

kabuk soyma işleminin susamın mineral içeriği üzerine etkisi incelenmiştir. İnsan kulağının duyabileceğinin üzerinde, 10 MHz ile 20 kHz aralığında frekansa sahip ses dalgaları ultrases olarak tanımlanır. Bu sistem ultrasesik dalgalar meydana getiren jeneratör ve bu elektrik sinyalini ses dalgalarına çeviren transdüserden oluşmaktadır. Gıda endüstrisinde ultrases yönteminin ekstraksiyon amacı ile kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Ultrases teknolojisi kavitasyonla çözücünün ürüne daha fazla nüfuz etmesini sağlayabilmektedir. Bu çalışmada susam kabuğunun soyulmasında kullanılan geleneksel ıslatma yöntemi yerine ultrases ıslatma yönteminin kullanımı ve bu yöntemin susamın mineral içeriği üzerine etkisi araştırılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1 Susam Bitkisi ve Tarımı

Susam (*Sesamum indicum* L.), kendi kendine tozlaşan yıllık bir bitkidir ve en önemli yağlı tohum bitkilerinden biri olarak bilinir. Hayvan yemlerinde ve insan gıdalarında bütün tohum, yağ ve küspe olarak bir besin olarak kabul edilmektedir (Hahm ve ark., 2009).

Sesamum, *Pedaliaceae* familyasına ait en büyük cins grubu olup Hindistan'da bulunan iki ayrı türle birlikte, çoğu tropikal Afrika'ya özgü olan yaklaşık 20 türden oluşur. Bu türlerin arasında susam, sıcak ve kuru iklimlerde yetişen, yağ ve protein açısından zengin tohumları için yetiştirilen tek bitki türüdür. Susam yağı, stabilitesi, rengi, kendine özgü bir lezzete sahip olması ve bozulmaya karşı direnci nedeniyle değerli bir tohum yağıdır (Bedigian, 2010).

Hindistan, Kore, Çin ve Afrika ülkelerinde arşivlenmiş dünya çapında yaklaşık 20.000 susam tohumu çeşidi bulunmaktadır (Zhang ve ark., 2019). Susama ait türlerin çoğunluğu Afrika'da bulunduğu için Afrika, susam bitkisinin orijini olarak kabul edilmektedir. Afrika kökenli olan susamın buradan Mısır, Hindistan, Orta Doğu, Çin ve diğer bölgelere yayıldığına inanılmaktadır. Türkiye ise ikincil gen merkezi durumundadır. *Sesamum indicum* L., kültürü yapılan en yaygın tür olup, aynı zamanda 40-80 cm yüksekliğe kadar yetişen tek yıllık bir bitkidir (Şekil 2.1) (Singh ve ark., 2016). Yetiştirilen türler çoğunlukla sulu ortamlara ihtiyaç duymasına rağmen, aynı zamanda kuraklığa oldukça dayanıklıdır ve çoğu toprak türünde yetiştirilebilir (Pham ve ark., 2010).

Susamın yaşam döngüsü fenoloji yönünden incelendiğinde dört aşama içerir: Bunlar vejetatif aşama (ekimden çiçeklenme başlangıcına kadar), üreme aşaması (çiçeklenme başlangıcından çiçeklenme bitimine kadar), olgunlaşma aşaması (çiçeklenmeden fizyolojik olgunluğa kadar) ve kurutma aşamasıdır (fizyolojik olgunluktan doğrudan hasat edilene kadar). Susamın ekimden olgunluğa kadar 77 gün ila 144 gün arasında değişen bir yaşam döngüsü vardır. Bu döngüde her bir aşamanın uzunluğunu etkileyen temel faktörler nem ve ortam sıcaklığıdır. Yüksek nem, çimlenme ve fide aşamalarını kısaltmakta; ancak geri kalan aşamaları uzatmaktadır. Ortam sıcaklığının normalin üzerine çıktığı günlerin sayısındaki artışa bağlı olarak bitkisel ve üreme dönemleri kısaltılmaktadır. Soğuk gece sıcaklıkları ise olgunlaşma ve tam olgunluk aşamalarını uzatmaktadır. Düşük nem, rüzgâr ve/veya sıcaklık, tüm kurutma aşamalarını kısaltmaktadır (Langham, 2018).



Şekil 2.1: *Sesamum indicum* L.'nin farklı kısımları. Susamın çiçekli dönemdeki yapısı, (b) gövde ve kıvrımlı yaprakları, (c) yaprakların dökülme döneminde susam bitkisi.

2.1.1 Susam Tohumunun Kimyasal İçeriği

Susam tohumu yüksek yağ ve protein içeriğine sahip zengin bir besin maddesidir. Kabuğu çıkarılmış tohumlar daha fazla yağ içermektedir. Bu durum yağın büyük ölçüde endospermde yoğunlaştığını göstermektedir. Bu aynı zamanda yağın çıkarılması için kabuğu çıkarılmış tohumun neden ekonomik açıdan daha verimli olabileceğini açıklamaktadır. Susam tohumunda mineral içeriği en çok susamın kabuk bölümünde yoğunlaşmaktadır. Susam kabuğunun yüksek kül ve lif içeriği, bu atığın hayvan yemi için besin gereksinimlerinin bir kısmını karşılama potansiyelini ortaya koymaktadır. Susam tohumları, protein ile kompleks oluşturan ve onu daha az kullanılabilir hale getiren bir anti-besinsel faktör olan fitik asit içerir. Susam kabuğu anti beslenme faktörlerini daha yüksek miktarda içermektedir. Lif içeriği kabuğu çıkarılmış siyah susam çeşidinde (%6,41) beyaz susam çeşidine (%3,70) göre önemli ölçüde daha yüksek tespit edilmiştir; ancak en yüksek lif içeriği beyaz ve siyah çeşitlerin kabuklarında bulunmaktadır. Bu durum, lifin çoğunlukla gövdede yoğunlaştığını göstermektedir. Tablo 2.1'de bazı beyaz ve siyah renk susam tohumlarının bütün, kabuksuz ve kabuklu hallerinin temel bileşen içerikleri gösterilmektedir (Makinde ve Akinoso, 2013).

Tohum kabuğu rengi susamda önemli bir agronomik özelliktir. Olgun susam tohumlarının doğal renkleri siyahtan ara renklere (gri, kahverengi, altın rengi, sarı ve açık beyaz) ve beyaza kadar değişir. Beyazdan siyaha ve tüm ara renklere kadar değişen tohum kabuğu rengi için yüksek polimorfizm gözlemlenebilir (Zhang ve ark., 2013).

Tablo 2.1: Susam tohumunun kimyasal içeriği (%).

Susam	Nem	Protein	Yağ	Kül	Lif	K.H. ²
Beyaz Renkli						
Tüm Tane	4,18 ¹	21,94	46,09	6,16	4,70	16,95
Susam İçi	4,58	25,27	49,91	3,72	3,70	12,36
Susam Kabuğu	7,57	2,35	9,25	25,12	46,07	9,64
Siyah Renkli						
Tüm tane	5,41	23,64	45,63	7,34	7,15	10,83
Susam İçi	4,81	26,79	47,73	4,62	6,41	9,65
Susam Kabuğu	8,73	2,72	7,62	27,61	47,60	5,72

¹ Ortalama \pm SS, ²Karbonhidrat miktarı, toplam kuru maddeden diğer bileşenlerin çıkarılmasıyla hesaplanmıştır.

Çoklu doymamış yağ asitlerinden bir grup vücut tarafından sentezlenemez ve gıdalarla alınması zorunludur. Bunlara esansiyel yağ asitleri denir. Susam yağı esansiyel yağ içeriği açısından önemli bir kaynaktır. Alfa-linolenik asit ve linoleik asit esansiyel yağ asitlerindedir. Esansiyel olmayan yağ asitleri vücutta alfa-linolenik asit veya linoleik asit tarafından sentezlenir. Esansiyel yağ asitlerinin, kalp krizi, kalp damar hastalıkları, depresyon, migren, eklem romatizmaları, şeker hastalığı, yüksek kolesterol, tansiyon, alerji ve kanser gibi birçok hastalığı önlemede anahtar rol oynadıkları da bilinmektedir (Wassell ve ark., 2010).

Susam yağı, genellikle soğuk pres yöntemi ile elde edilerek tüketime sunulmaktadır. Fonksiyonel bileşikler açısından bakıldığında soğuk preslenmiş yağlar ticari olarak satılan en sağlıklı ve kimyasal içermeyen ürünlerden biri olarak kabul edilmektedir. Soğuk preslenmiş yağlarda bulunan fitosteroller, skualen ve kolekalsiferol gibi lipofilik fitokimyasalların insan metabolizmasında fizyolojik ve biyolojik aktiviteyi iyileştirdiği gösterilmiştir. Fitosterollerin kandaki kolesterol seviyesini düşürme, metabolik hızları artırma, yağ yakımını artırma ve bazı kanser türlerinin görülme sıklığını azaltma gibi etkileri bulunmaktadır (Moreau ve ark., 2018). Yapılan bir çalışmada beyaz susam tohumunda 2.565 mg/kg fitosterol, 2.611 mg/kg skualen ve 59,11 mg/kg kolekalsiferol; siyah susam tohumunda ise 2.690 mg/kg fitosterol, 1.171 mg/kg skualen ve 650,3 mg/kg kolekalsiferol tespit edilmiştir. Tablo 2.2’de beyaz ve siyah renk susam tohumunun yağ asidi bileşimi gösterilmektedir (Yuenyong ve ark., 2021).

Tablo 2.2: Susam tohum yağının yağ asidi bileşimi (%).

Susam	Palmitik Asit	Stearik Asit	Araşidik Asit	Palmitoleik Asit	Oleik Asit	Linoleik Asit	Diğerleri
Beyaz	12,57	5,81	0,22	1,22	30,06	49,43	0,67
Siyah	9,97	4,48	0,26	2,12	32,34	50,62	0,2

2.1.2 Ülkemizde ve Dünyada Susam Üretimi

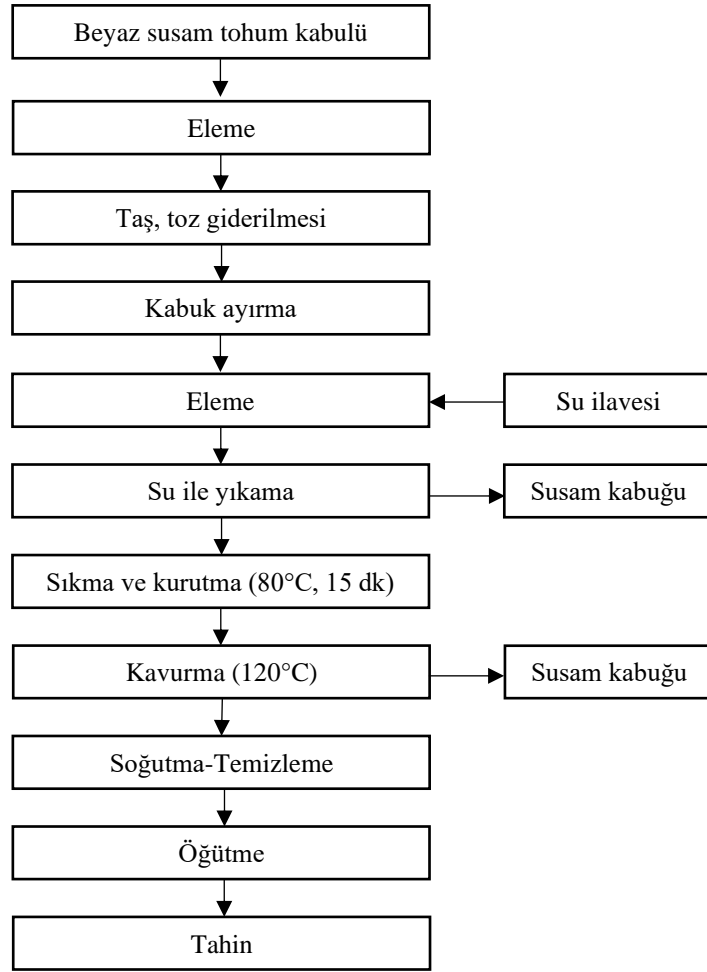
Dünya üzerinde 2022 yılında toplam susam ekim alanı 12.836.776 ha olup üretim miktarı 6.741.479 tondur. Kıtalarla göre oransal olarak sırasıyla %59,3 ile Afrika, %35,6 ile Asya, %5 ile Amerika kıtaları susam tohumu üretimi yapmaktadır. Ülkelere göre ise sırasıyla Sudan 1.231.701 ton, Hindistan 788.740 ton, Mynmar 760.925 ton, Tanzanya 700.000 ton, Nijerya 450.000 ton susam üretimi ile önde gelmektedir (FAOSTAT, 2022). 2022 yılında ülkemizde toplam susam ekim alanı 242.857 dekar olup üretim 17.366 tondur. Türkiye İstatistik Kurumu (2022) verilerine göre 2022 yılında illere göre üretim miktarı 4.909 ton ile Antalya, 3.256 ton ile Manisa, 2.853 ton ile Uşak, 1.654 ton ile Muğla, 1.445 ton ile Adana, 565 ton ile Balıkesir'dir (TÜİK, 2022).

2.1.3 Susamdan Üretilen Başlıca Ürünler

Susam tohumu susam yağı, tahin ve helva gibi gıda ürünlerinin temel hammaddesidir. Türk Gıda Kodeksi Tahin Tebliğinde (Tebliğ No:2015/27) tahin, uygun susam (*Sesamum indicum* L.) tohumlarının tekniğine uygun olarak kabukları ayrılıp, fırında kurutulup kavrulduktan sonra değirmende ezilmesi ile elde edilen ürünü ifade eder. Tahin ve helva üretiminde süreç akış şemaları Şekil 2.2 ve 2.3'te gösterilmektedir (Elleuch ve ark., 2011).

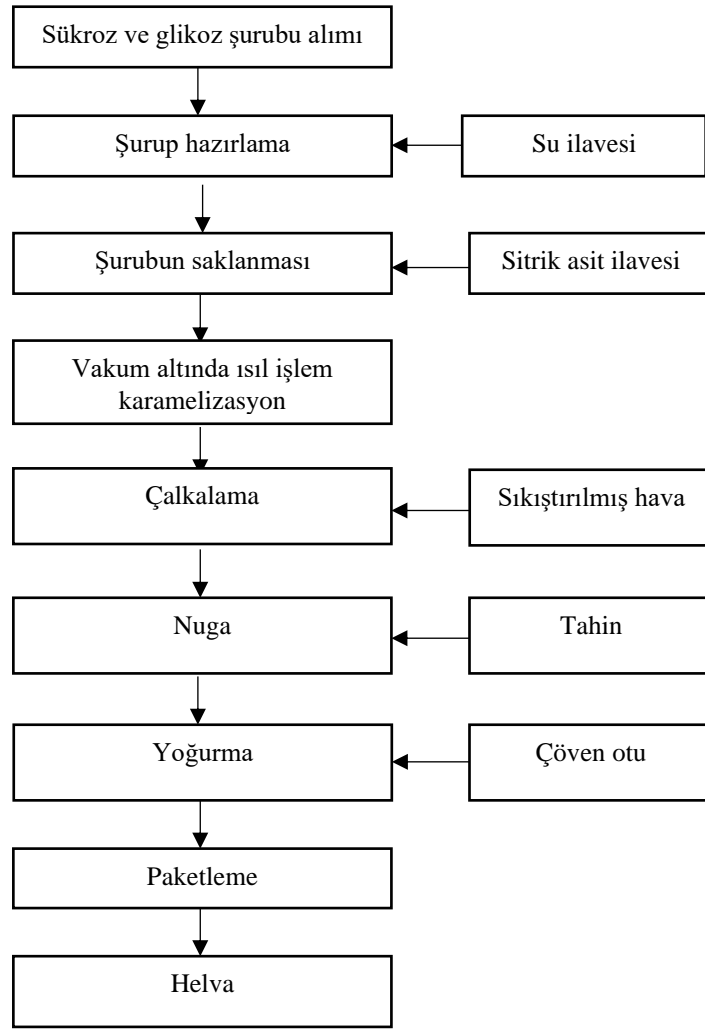
Geleneksel yöntemde tahin üretiminin başlıca işlem aşamaları şunlardır: Susamların su içinde bekletilmesi, sudan çıkarılan susamın dinlendirilmesi, kabuk soyma, tuzlu suda bekletme ve ayırıştırma, son durulama, santrifüjleme, kavurma, soğumaya bırakma, elekten geçirme ve değirmende ezmedir. Susam tohumları tahin veya helva üretimi yapılmadan önce gıda işletmesi tarafından kontrolleri yapılarak kabul edilir. İlk aşamada susam tohumlarının yabancı maddelerden (kum, taş, toprak, kabuk, bitkisel parçalar, yabancı tohumlar) temizlenmesi gerekmektedir. Temizlenmiş ve elenmiş susam tohumları yumuşayıp ileri aşamada kabuğunun ayrılması için susam ıslatma havuzunda bekletilir. Yumuşayan susam tohumları kabuk soyma makinelerinde kabuğu ayrıldıktan sonra su ile yıkanır. Kabuğu ayrılan susam tohumuna sıcaklık-süre parametreleri işletme tarafından değişebilen sıkma,

kurutma ve kavurma işlemleri uygulanır. Daha sonra soğumaya bırakılan ara ürün öğütülüp tahin haline getirilir (Hizaroğlu, 2013).



Şekil 2.2: Tahin üretim akış şeması.

Helva üretiminde ana hammadde olarak tahin, şeker şurubu ve çöven otu özütü kullanılmaktadır. Sükroz ve glikozdan hazırlanan şuruba su ve sitrik asit ilavesi yapılır. Hazırlanan şurup ısıtılarak karamelize hale getirilir. Sıkıştırılmış hava ile çalkalama işlemi yapılan karamelize ara ürün nuga haline getirilir. Öncesinde hazırlanan tahin bu karışıma eklendikten sonra kıvam için eklenen çöven özütü ile karıştırıldıktan sonra yoğurulup istenilen gramajda paketlemeye hazır hale getirilir (Elleuch ve ark., 2011).



Şekil 2.3: Helva üretim akış şeması.

Susam yağı susam bitkisinin (*Sesamum indicum* L.) tohumlarından elde edilen yağ ifade eder (Tebliğ No:2012/29). Susamdan genel olarak iki farklı şekilde yağ elde edilebilmektedir. Bunlar kavrulmuş susam tohumundan ve kavrulmamış susam tohumundan elde edilen yağlardır. Kavrulmamış susam tohumu yağı, öğütülmüş susam tohumlarına mekanik pres yardımıyla ezilmesi sonucu yağ ve küspe olarak ayrılması ile elde edilen yağdır. Daha sonra elde edilen bu yağ istenirse rafine edilmektedir. Uzak Doğu ülkeleri hariç dünya çapında rafine susam yağı kızartmalık ve salata yağı olarak kullanılmaktadır. Kavrulmuş susam tohumu yağı, susam tohumlarına 140-200 °C’de kavurma ön işlemi uygulandıktan sonra baskı plakası ile sıkıştırılması sonrasında elde edilen sıvı fazın daha sonra filtre edilmesi ile üretilen yağdır. Kavrulmuş susam yağı rengi kavurma koşullarına bağlı olarak açık sarıdan koyu kahverengiye kadar değişmektedir (Hwang, 2005).

2.2 ICP-MS Yöntemi ile Mineral Analizi

2.2.1 ICP-MS Çalışma Prensipleri

ICP-MS (İndüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometrisi) kalitatif ve kantitatif mineral analizinde kullanılan bir tür kütle spektroskopisi olup, 1983 yılında ticarileştirilmesi ile en çok kullanılan eser mineral analiz tekniğidir. Dünya çapında çok çeşitli uygulamalar için yaklaşık 11.000 farklı sistem kurulmuştur. Günümüzde yürütülen ICP-MS analizlerinin yaklaşık %80'i çevresel, jeolojik, yarı iletken, biyomedikal ve nükleer uygulama alanlarını içerir. ICP-MS'in mineral analizinde en çok kullanılmasının temel nedeni ultra eser düzeyde, hızlı ve çoklu mineral analizi yapabilme olanağıdır. ICP-MS diğer spektrometrik tekniklerle kıyaslandığında daha yüksek analiz hızı, tespit limitleri ve izotopları belirleyebilme gibi avantajlar sağlamaktadır. Mineral analizi, gıdalarda ve sularda özellikle toksik etkide olan minerallerin miktar analizinde önemiyken gıdalarda bulunan insan sağlığı için gerekli mikro ve makro minerallerin analizleri için de önem taşımaktadır (Thomas, 2013).

ICP-MS cihazı numunedeki mineraller iyonlaştırıldıktan sonra kütle/yük oranına göre ayrılıp ölçülmesi esasına dayanır. ICP-MS cihazı, bir numunedeki mineralleri iyonize etmek için bir plazma (ICP) kullanır ve ardından bir kütle spektrometresi (MS) kullanarak iyonları ölçer. ICP-MS cihazı başlıca şu bölümlerden oluşmaktadır: Numune giriş sistemi, plazma, arayüz, iyon merceği, reaksiyon hücresi, kütle spektrometresi, dedektör, veri işleme bilgisayarı. Numune giriş sisteminde sıvı numuneden ince bir aerosol sisi oluşturur. Plazma, numune aerosolündeki mineralleri iyonlara dönüştürür. Oluşan arayüz iyonları vakum sistemine gönderilir. İyon merceği, iyonları odaklar ve diğer sinyallerinden ayırır. Reaksiyon hücresi, analit iyonları girişim yapan iyonlardan ayır. Kütle spektrometresi (MS), iyonları kütleğe göre filtreler. Dedektör kısmında sinyaller oluşturulur. Sinyaller, mineral standartları ile oluşturulan kalibrasyon noktası referans alınarak işlenir (Anonim, 2024).

2.2.2 Gıdalarda Bulunan Minerallerin Sınıflandırılması

Bir mineralin gruplara göre sınıflandırılması kesin değildir ve mineralin esas olduğu spesifik biyolojik türlerine bağlıdır. Ayrıca bazı metallerin toksik etkileri organizmaya bağlı olarak farklılaşabilir. Temel minerallerin (örneğin Se ve Ni) bile daha yüksek dozlarda toksik olabileceği unutulmamalıdır. Mineraller mevcut miktarlarına ve fizyolojik önemine göre makro mineral, mikro mineral ve ağır metal olarak üçe ayrılır:

- *Makro mineraller*: Majör mineraller olarak da bilinen ve gıdalarda fazla miktarlarda (yüzlerce-on binlerce mg/kg) bulunan sodyum (Na), magnezyum (Mg), fosfor (P), potasyum (K) ve kalsiyum (Ca) mineralleridir.
- *Mikro mineraller*: Minör mineraller olarak da bilinen ve gıdalarda daha düşük miktarlarda (onlarca mg/kg veya daha az) bulunan bakır (Cu), demir (Fe), kalay (Sn), mangan (Mn), çinko (Zn), selenyum (Se), alüminyum (Al), bor (B), krom (Cr) ve nikel (Ni) mineralleridir.
- *Toksik mineraller*: Biyolojik bir rolü olmayan ve veya toksik etki gösteren zehirli, çözünebilir bileşikler üreten arsenik (As), kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), civa (Hg) ve antimon (Sb) mineralleridir (Velisek, 2013).

Makro mineraller, insan sağlığı açısından hayati öneme sahiptir. Örneğin sodyum ve potasyum hücre içindeki ozmotik basıncı düzenler ve bazı enzimleri aktive eder. Magnezyum vücutta üç yüzden fazla enzimi aktive eder. Kalsiyum, kemik sağlığı için gereklidir. Aynı zamanda kas kasılmasını da kontrol eder ve normal kan pıhtılaşmasında önemli bir rol oynar. Fosfor sağlıklı kemikler ve enerji depolama ile üretimi için gereklidir (Varol ve Sünbül, 2020).

Mikro mineraller, yaşam süreçlerinin düzenlenmesinden sorumlu olan bileşenlerdir. Bağışıklık tepkisinin düzgün işleyişinden sorumludurlar, metabolik yollara katılırlar, birçok hücre yapının sentezinde substrattırlar ve ozmotik sıvılarda ozmotik basıncı ve pH'ı düzenlerler (Konkol ve ark., 2024).

Ağır metaller, kimyasal özellikleri ve biyolojik fonksiyonları bakımından geniş çeşitlilik gösteren çok heterojen bir mineral grubunu oluşturur. Ağır metaller bitkiler, hayvanlar ve insanlar üzerindeki toksik etkilerinden dolayı çevre kirleticiler kategorisinde değerlendirilmektedir. Ağır metaller doğada kalıcı olduğundan toprakta ve bitkilerde birikmektedir. Ağır metaller bitkilerin fotosentez, gaz alışverişi ve besin emilimi gibi fizyolojik faaliyetlerine müdahale ederek bitki büyümesinde, kuru madde birikiminde ve verimde azalmalara neden olur. Ağır metaller ayrıca bitkilerdeki antioksidan düzeylerini de etkiler ve ürünün besin değerini azaltır. Birçok ağır metalin bitki tüketimi yoluyla vücuda alınması, insan sağlığı üzerinde uzun vadede zararlı etkilere sahiptir (Sharma ve Agrawal, 2005).

2.3 Ultrases Teknolojisi

İnsan kulağının duyabileceğinin üzerinde, 10 MHz ile 20 kHz aralığında frekansa sahip ses dalgaları ultrases olarak tanımlanır (Baysal ve Demirdöven, 2012). Ultrases yöntemi, gıda işlemeyi en aza indirmek, gıda kalitesini artırmak ve gıda ürünlerinin güvenliğini sağlamak için geliştirilen, en son teknolojilerden birisidir. Ultrases yöntemi, gıda işleme proseslerinde kütle transferinde iyileşme, ısı işlemlere yardımcı olarak gıda muhafazası sağlama gibi etkilerinin yanı sıra uygulandığı gıdaların yapısında dokusal özelliklerin geliştirilmesi gibi olumlu etkiler vermek amacı ile uygulanabilmektedir (Schössler ve ark., 2012).

Frekans aralığına bağlı olarak, gıda işleme, analiz ve kalite kontrolünde ultrases uygulamaları düşük ve yüksek enerji olarak iki şekilde uygulanabilir. Düşük enerjili (düşük güç, düşük yoğunluklu) ultrases, $1 \text{ W}\cdot\text{cm}^2$ 'nin altındaki yoğunluklarda 100 kHz'den daha yüksek frekanslara sahiptir. Bu uygulama, bir ürünün veya prosesin takip edilmesi yolu ile yüksek gıda kalitesi ve güvencesi sağlamak; işleme ve depolama sırasında çeşitli gıda malzemelerinin tahribatsız (non-invaziv) analizi ve izlenmesi için kullanılabilir. Ayrıca hem işleme öncesi hem de hasat öncesi hem de işleme sırasında peynir, ticari yemek yağları, ekmek ve tahıl ürünleri, dökme ve emülsifiye yağ bazlı gıda ürünleri, gıda jelleri, havalandırılmış ve dondurulmuş gıdalarda taze sebze ve meyvelerin kalite kontrolü için de kullanılır. Yüksek enerjili (yüksek güçlü, yüksek yoğunluklu) ultrasese, 20 ve 500 kHz arasındaki frekanslarda $1 \text{ W}\cdot\text{cm}^2$ 'den daha yüksek yoğunluklar kullanılır. Bu yöntem gıdaların fiziksel, mekanik veya kimyasal/biyokimyasal özellikleri üzerinde yıkıcı etkilere neden olur. Ultrases tekniği frekans seviyesinin ayarlanması ile gıda dahil birçok endüstriyel uygulamada kullanılabilir. Ultrases teknikleri nispeten ucuz, basit ve enerji tasarrufludur ve bundan dolayı gıda ürünlerini incelemek ve değiştirmek için yeni ortaya çıkan bir teknoloji haline gelmiştir. Düşük güçlü (yüksek frekanslı) ultrases, gıda özelliklerinin kontrol edilmesi ve kalitesinin iyileştirilmesi için çok önemli olan işleme ve depolama sırasında gıda bileşenlerinin ve ürünlerinin bileşimini ve fizikokimyasal özelliklerini izlemek için kullanılır. Yüksek güçlü (düşük frekanslı) ultrases ise, gıdayla temas eden yüzeylerdeki patojen bakterilerin inaktivasyonu, gıdaların ekstraksiyonu, dondurulması, kurutulması ve emülsifikasyonu gibi birçok gıda işleme operasyonunu destekleyen kavitasyon yoluyla mekanik, fiziksel ve kimyasal/biyokimyasal değişikliklere neden olur (Awad ve ark., 2012). Tablo 2.3'te gıdalarda uygulanan düşük ve yüksek enerjili ultrases uygulamalarına ait bazı örnek uygulamalar ve özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.3: Gıdalarda düşük ve yüksek enerjili ultrases uygulamaları.

Uygulama	Ölçüm	Parametre	Amaç/Avantaj
Çiğ et karışımları	Bileşim	Ultrases güç seviyesi	Kalite kontrol
Portakal suyu	Şeker içeriği ve viskozite	Ultrases güç seviyesi	Kalite kontrol
Jelatin, tavuk ve sığır eti	Dondurulmuş gıdanın sıcaklığı ve buz içeriği	Ultrases güç seviyesi	Kalite kontrol, birçok gıda ürününün raf ömrünün uzatılması ve kalitesinin korunması
Peynir altı suyu proteini izolatu	Kavitasyon	Ultrases güç seviyesi ve süre	Arttırılmış çözünürlük
Dondurma imalatı	Akustik kavitasyon	Darbe süresi	Soğuk yüzeyde kabuklanmayı önler, donma süresini azaltır, Duyusal tadı, dokuyu ve ağız hissini iyileştirir
Süt ürünleri (peynir)	Bileşim, reoloji, kusurlar	Ultrases güç seviyesi	Hat içi kalite kontrolü
Patates	Kusurlar	Azalma katsayısı	Kalite kontrol
Tahıl ürünü (ekmek hamuru)	Ekmek hamuru fermantasyonunun reolojik özellikleri, kinetiği	Ultrases güç seviyesi, bağıl gecikme, sinyal genliği	Tahribatsız, ekmek hamurunun kalite kontrolü, kalite kontrolü
Bisküvi ve tahıl ürünleri	Duyusal özellikler	Ultrases güç seviyesi, dalga genliği	Duyusal özelliklerin kalite kontrolü
Gazlı gıda ürünleri	Dağınık gaz fazı, kabarcık morfolojisi, ortalama kabarcık boyutu	Ultrases güç seviyesi ve azalma	Havalandırılmalı gıda sistemlerinin kalite kontrolü
Jelatin, tavuk ve sığır eti	Dondurulmuş gıdanın sıcaklığı ve buz içeriği	Ultrases güç seviyesi ve ultrases darbesi	Kalite kontrol, birçok gıda ürününün raf ömrünün uzatılması ve kalitesinin korunması

2.4 Susam ve Tahinde Önceki Çalışmalar

Litaratürde susam ve susam ürünlerinde mineral analizi ile ilgili yapılan önemli çalışmalar kronolojik sıralama ile aşağıda ele alınmış ve özetlenmiştir.

Hika ve ark. (2023), yapmış oldukları çalışmada; çok mineralli analiz ve istatistiksel araçlar kullanarak Etiyopya susam tohumları için doğru coğrafi köken ayırt edici modellerin oluşturulmasını amaçlamışlardır. Etiyopya'da, Gondar, Humera ve Wollega bölgelerindeki üç ana susam üretim bölgesinden toplanan 93 örnekte 12 mineralin (Na, Mg, Cr, Mn, Fe, Cu, Co, Ni, Zn, Cd, As ve Pb) içeriği belirlenmiştir (Tablo 2.4). Tek yönlü varyans analizine göre, anlamlı bir farklılık ($p < 0,05$) gösteren 10 mineralin konsantrasyonu, temel bileşen analizi ve doğrusal diskriminant analizi (LDA) kullanılarak istatistiksel analiz yapılmıştır. Temel bileşenler analizi, örneklerin kendi kökenlerine göre bazı kümelenmelerini göstermiştir. Daha sonra, takip eden LDA ile, Etiyopya'nın üç bölgesinden elde edilen 93 susam tohumu örneğinin tamamı için %100 doğrulukta köken sınıflandırma yapılabilmektedir.

Tablo 2.4: Gondar, Humera ve Wollega bölgesindeki susam tohumlarının mineral içeriği (mg/kg).

Mineral	Gondor	Humera	Wollega
Na	16,7	4,2	36,6
Mg	420	498	384
Cr	1,6	0,4	0,1
Mn	3,8	0,6	10
Fe	12,8	5,3	25
Co	1,0	0,2	0,2
Ni	1,4	0,4	1,0
Cu	3,8	0,5	2,0
Zn	10,6	1,6	7,6
Cd	0,6	0,04	0,1
Pb	1,3	49	1,5
As	1,4	0,3	0,2

Özcan ve ark. (2023), yaptıkları çalışmada susam tohumu işlenmesinde yer alan proses aşamalarının çiğ ve kavrulmuş susam tohumu ve tahinin biyoaktif bileşik analizi (toplam

fenolik, toplam karotenoid, antioksidan kapasite), yağ asidi bileşimi, fenolik bileşen içeriği ve besinsel içeriği üzerine etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak, tahin üretimindeki proses aşamalarının, ürünün yağ kalitesini, biyoaktif bileşenlerini, yağ asidi kompozisyonunu, mineral içeriğini ve fenolik bileşiklerini etkiledikleri belirtilmiştir. Ham, kavrulmuş susam ve tahin yağının yüksek kalitesi nedeniyle endüstriyel uygulamalarda kullanılabilirliği belirtilmiştir. Kavrulmuş tohumlardaki minerallerin büyük bir bölümü çığ, diğer işlenmiş tohum ve tahin örneklerinde elde edilen mineral sonuçlarına göre daha yüksek miktarlarda bulunmuştur (Tablo 2.5). Örneklerde bulunan başlıca mineraller Ca, K, Mg, P, Fe ve Na olarak tespit edilmiştir. Tahinin yüksek besin içeriği nedeniyle iyi bir besin kaynağı olabileceği ifade edilmiştir.

Tablo 2.5: Çeşitli proses aşamalarından geçen susam tohumunun mineral içeriği (mg/kg).

Mineral	Bütün susam tohumu	Kabuğu ayrılmış susam tohumu	Kavrulmuş susam tohumu	Tahin
Ca	12074,69	4316,18	16445,94	8760,74
K	4787,71	3154,48	19595,77	14690,24
Mg	2585,08	2548,37	2875,95	1865,81
Na	292,02	1094,41	295,6	3945,83
P	23574,49	6421,72	3757,1	22411,02
B	10,13	9,57	33,88	29,28
Cr	3,6	3,81	4,53	2,11
Cu	24,63	21,3	6,26	59,4
Fe	263,03	170,1	449,46	270,28
Mn	28,24	18,66	97,78	57,03
Ni	2,58	2,49	2,4	3,36
Zn	62,13	68,9	17,45	168,53

Kassaw ve ark. (2023), yaptıkları çalışmada Etiyopya'da yetiştirilen susam tohumunun mineral içeriklerini, bunların tehlikeli düzeylerini ve ilgili sağlık risk değerlendirmelerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Susam tohumunun tüketimi yoluyla sağlık riski değerlendirmesi, tahmini günlük tüketim, hedef tehlike oranı ve tehlike indeksi değerlerinin incelenmesi yoluyla gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucu susam tüketimi yoluyla metal seviyelerinde potansiyel bir sağlık riski bulunmadığını ifade edilmiştir.

Mi ve ark. (2022), Çin, Togo, Sudan, Mozambik ve Etiyopya'da yetiştirilen susam tohumlarını ayırt etmek için yaptıkları çalışmada susam tohumlarının mineralleri ve uçucu maddelerindeki mevcut farklılıkları ortaya çıkarmak amacı ile kemometriklerle birleştirilmiş parmak izi analizini kullanmışlardır. Analizler sonucunda farklı susam tohumları grupları

arasında net ayrımlar olduğu gözlenmiştir (Tablo 2.6). Bu çalışmanın bulguları, coğrafi kökenin ham susam tohumlarının bileşimi üzerinde büyük etkiye sahip olabileceğini göstermektedir.

Tablo 2.6: Çin, Togo, Sudan, Mozambik ve Etiyopya bölgesindeki susam tohumlarının mineral içeriği (mg/kg).

Mineral	Çin	Togo	Sudan	Mozambik	Etiyopya
Na	35,72	27,33	23,77	23,59	29,35
B	9,23	7,18	7,55	10,85	7,55
Mn	9,94	12,61	12,30	13,19	19,10
Se	0,14	0,17	0,17	0,05	0,07
K	5721,57	4993,73	4932,14	6693,73	5300,97
P	6415,67	6056,71	5941,16	3459,74	5395,88

Beshaw ve ark. (2022), minerallerin yaklaşık bileşimi, düzeyleri hakkında, Etiyopya'daki üç çalışma sahasındaki yerel pazardan rastgele satın alınan susam tohumu numunelerinde sağlık riski değerlendirmelerinde bulunmuşlardır. Tüm minerallerin konsantrasyonlarının FAO/WHO tarafından önerilen izin verilen limitin altında olduğu bulunmuştur (Tablo 2.7). Sağlık riski açısından bakıldığında, susam tohumlarındaki Zn, Cu ve Fe minerallerinin hedef tehlike oranı (THQ) düzeyi kansere neden olmayan riske katkıda bulunmadığı; tehlike indeksi (HI) değerlerinde susam tüketiminin insan sağlığı üzerinde herhangi bir olumsuz etkisinin bulunmadığı ifade edilmiştir.

Tablo 2.7: Etiyopya bölgesindeki susam tohumlarının kimyasal ve mineral içeriği.

İçerik (%)	Moretna Jeru	Merhabete	Mida Woremo
Nem	3,15	3,52	3,30
Yağ	56,9	55,6	55,75
Protein	22,65	23,39	22,65
Kül	3,2	4,75	3,10
Mineral içeriği (mg/kg)			
Na	70,1	49,5	37,2
Ca	341,3	328,0	332,1
Mg	216,5	215,4	209,0
K	319,8	338,0	315,1
Cu	5,0	4,9	4,9
Zn	8,3	8,7	8,4
Fe	12,6	12,9	12,8

Labban ve Sumainah (2021), tahinin insan sağlığına etkisini inceledikleri çalışmada tahinde yağ asitleri, vitamin ve mineral içeriği açısından incelemelerde bulunmuşlardır. Besinsel içerik açısından incelenen tahin numunesi protein (%17), yağ (%53,76), karbonhidrat

(%21,19), lif (%9,3) içeriğine sahiptir. Yağ asitleri açısından incelenen tahin numunesi 100 gramda oleik asit (35,9-47), linoleik asit (35,6-47,6), palmitik asit (8,7-13,8), stearik asit (2,1-6,4) ve araşidonik asit (0,1-0,7) içeriğine sahiptir. Mineral açısından incelenen tahin numunesi mg/kg cinsinden Ca (1410), Fe (44,2), Mg (950), P (7900), Na (350), Zn (46,2), Cu (16,1) ve Se (0,344) içeriğine sahiptir. Vitamin içeriği açısından incelenen tahin numunesi 100 gramda mg olarak B₁ vitamini (1,590), B₂ vitamini (0,120), B₃ vitamini (5,640), A vitamini (0,067), E vitamini (0,25) içeriğine sahiptir. Bu çalışma tahinin potansiyel beslenme ve sağlığı geliştirici etkilerini vurgulamış ve tartışmıştır.

Saeed ve ark. (2015), çalışmalarında Pakistan'da yerel pazardan temin ettikleri üç farklı susam tohumu çeşidinde (beyaz, siyah ve kahverengi), besin içeriği, fiziko-kimyasal özellikler, antioksidan kapasite, yağ asidi profili ve mineral içeriği açısından incelemelerde bulunmuşlardır. Siyah susam çeşidinin yüksek besin profili ve antioksidan potansiyeli nedeniyle tüm çeşitler arasında en iyisi olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada beyaz, siyah ve kahverengi susam tohumları incelenmiş, mineral olarak makro minerallerden Ca, Mg, K; mikro minerallerden Fe ve Zn incelenmiştir. Mineral içeriği açısından üç susam çeşidi arasında önemli ($p<0,05$) farklılıklar bulunmuştur. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar Tablo 2.8'de gösterilmektedir.

Tablo 2.8: Beyaz, siyah ve kahverengi susam tohumunun kimyasal ve mineral içeriği.

İçerik (%)	Beyaz renkli susam tohumu	Siyah renkli susam tohumu	Kahverengi renkli susam tohumu
Nem	3,290	4,226	3,557
Protein	35,8	33,31	33,43
Yağ	43,407	47,153	50,173
Lif	3,956	4,523	3,733
Kül	11,291	8,127	7,484
Mineral içeriği (mg/kg)			
Ca	638,33	703,33	451,67
Fe	2,1667	8,566	7,5333
Mg	566,6	366,6	366,6
Zn	0,6	0,7667	0,5667
K	42500	54003	53667

Bamigboye ve ark. (2010), çalışmalarında Nijerya'da yetiştirilen susam tohumu çeşidinde besin içeriği ve mineral içeriği açısından incelemelerde bulunmuşlardır. Analizler sonucunda, sırasıyla bütün ve kabuğu çıkarılmış tohum numunelerinde nem içeriğinin (%5,2 ve 6,4), protein içeriğinin (%11,6 ve 17,1), yağ içeriğinin (%48 ve 44), lif içeriğinin (%4,6 ve 2,6), kül içeriğinin (%6,2 ve 3,6) ve karbonhidrat içeriğinin (%29,0 ve 21,7) olduğu tespit

edilmiştir. Susam numunelerinde mineral analizi makro minerallerden K, Na, Ca, P; mikro minerallerden Fe, Mn ve Zn incelenmiştir. Susam tohumunun kimyasal içeriği incelendiğinde susam tohumunun iç kısmıyla kabuğu arasında belirgin farklar olduğu gözlenmiştir. Mineral içeriğinin bütün susam tohumunda daha yüksek çıkmasının sebebi tohumun iç kısmındaki kül miktarının kabuk kısmından daha yüksek olmasıdır.

Nzikou ve ark. (2009), Kongo-Brazzaville bölgesinden temin ettikleri susam ve susam yağında besinsel içerik ve mineral içeriği açısından incelemelerde bulunmuşlardır. Analizler sonucunda, tohumun %5,7 nem, %20 ham protein, %3,7 kül, %3,2 ham lif, %54 yağ ve %13,4 karbonhidrat içerdiği tespit edilmiştir. Susam numunesinde Ca içeriği 4153,8, P içeriği 6472,5, Mg içeriği 5795,3, K içeriği 8513,5, Na içeriği 1225,0 mg/kg olarak ölçülmüştür.

Akbulut ve Çoklar (2008), yapmış oldukları çalışmada; tahin (kavrulmuş ve kabuklu susamdan üretilen), Bozkır tahini (kavrulmuş ve kabuksuz susamdan üretilen) ve bunların karışımlarının (%25 ve %75) yaklaşık bileşimi, belirli kalite ve reolojik özelliklerini incelemiştir. Analizler sonucunda, tahinde kabuksuz susam oranının artması ile tüm sıcaklıklarda daha yüksek viskozite değerleri elde edilmiştir. Kabuğu uzaklaştırılan susamdan üretilen Bozkır tahininin kıvam katsayısı, 15-65 °C sıcaklık aralığında kabuğu uzaklaştırılmayan susamdan üretilen tahine göre daha yüksek çıkmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre Arrhenius tipi model tahin, bozkır tahini ve bunların karışımlarında sıcaklığın kıvamla ilişkisini göstermede başarılı olmuştur. Tahinde kabuksuz susam oranının artmasıyla genel olarak aktivasyon enerjisinin azaldığı tespit edilmiştir. Tahinde kavrulmuş ve kabuklu susam oranının artmasıyla emülsiyon stabilitesi önemli ölçüde azalmıştır. Sonuçlar incelendiğinde kabuklu susamdan üretilen tahinde nem %1,86, protein %23,77, yağ %55,42, lif %3,11, kül %2,78 olarak bulunmuştur. Kabuksuz susamdan üretilen Bozkır tahininde ise nem %1,14, protein %21,76, yağ %52,90, lif %6,13, kül %4,12 olarak bulunmuştur. Tahindeki kabuk içeriğinin protein, nem, kül, yağ, lif ve su aktivitesi gibi fizikokimyasal özelliklerden etkilendiği gösterilmiştir.

El-Adawy ve ark. (2000), yapmış oldukları çalışmada; tahin üretiminde kavurma işlemini buharda, vakumla, sıcak tabakada ve sıcak havada gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada farklı kavurma teknikleri ile üretilen tahinlerde 1240-1300 mg/kg Na, 620-660 mg/kg Ca, 3020-3110 mg/kg Mg, 2880-2930 mg/kg K, 20-21 mg/kg Cu, 80-83 mg/kg Zn, 85-89 mg/kg Fe

ve 15-17 mg/kg Mn gibi değişen seviyelerde mineral içerikleri olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2.9). Çalışmada farklı kavurma işlemlerinin mineral madde miktarını oldukça dūřuk düzeyde etkilediği sonucuna varılmıştır. Sonuçlardan, kabuğu çıkarılmış susam tohumlarının 130  C'de sıcak hava kullanılarak 1 saat kavrulmasıyla iyi kalitede bir tahin üretilbileceği sonucuna varılmıştır.

Tablo 2.9: Tahin numunelerinin kimyasal ve mineral içeriği.

İçerik (%)	Buharda kavrulmuş	Vakumla kavrulmuş	Sıcak tabakada kavrulmuş	Sıcak havayla kavrulmuş
Nem	1,98	1,55	1,45	1,67
Yağ	58,63	59,29	58,59	59,37
Protein	22,35	22,06	22,59	21,90
Kül	2,62	2,88	2,73	2,83
Mineral içeriği (mg/kg)				
Na	1260	1240	1300	1250
Ca	660	650	620	630
Mg	3020	3040	3090	3110
K	2910	2880	2900	2930
Cu	21	21	21	20
Zn	83	80	82	81
Fe	86	89	86	85
Mn	15	16	17	17

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Araştırmada materyal olarak kullanılan yerel susam ve tahin örnekleri, ülkemizdeki çeşitli illerdeki yerel marketlerden ve satış alanlarından; ithal susam ve tahin örnekleri ise Gaziantep’te tahin ve tahin helvası üretimi yapan TUNAS Gıda Pazarlama ve Tic. Ltd. Şti.’den temin edilmiştir. Tablo 3.1 ve 3.2’de sırasıyla analiz edilen susam ve tahin örneklerinin isimleri ve ait oldukları bölgeler verilmektedir. Analiz edilen susam ve tahin numunelerine ait görseller Ek A’da Şekil A.1 ve A.2’de sunulmaktadır.

Tablo 3.1: Çalışmada kullanılan susam numunelerinin çeşit ve tohum kabuk renkleri.

Sıra numarası	Susam menşei	Tohum kabuk rengi
1	Antalya	Koyu kahve
2	Manavgat	Krem
3	Balıkesir	Koyu kahve
4	Balıkesir-2	Koyu kahve
5	Muğla	Koyu kahve
6	Konya	Açık kahve
7	Brezilya	Koyu kahve
8	Sudan	Açık kahve
9	Burkina	Açık kahve
10	Pakistan	Koyu kahve
11	Sudan-2	Krem
12	Brezilya-2	Siyah
13	Arjantin	Açık kahve
14	Senegal	Koyu kahve
15	Pakistan-2	Krem
16	Kenya	Koyu kahve
17	Gana	Koyu kahve
18	Sudan-3	Krem
19	Burkina-2	Koyu kahve
20	Togo	Açık kahve
21	Venezuela	Koyu kahve
22	Nijerya	Açık kahve
23	Nijerya-2	Siyah
24	Paraguay	Krem
25	Kenya-2	Siyah
26	Mozambik	Koyu kahve
27	Bolivya	Açık kahve
28	Hindistan	Açık kahve

Tablo 3.2: Çalışmada kullanılan tahin numuneleri ve bölgeleri.

Sıra numarası	Tahin menşei
1	Antalya
2	Manisa
3	Muğla
4	Balıkesir
5	Balıkesir-2
6	Mersin
7	Adana
8	Konya
9	Konya-2
10	Konya-3
11	Hindistan
12	Kenya
13	Pakistan
14	Sudan
15	Togo
16	Senegal
17	Brezilya
18	Mozambik
19	Etiyopya
20	Humera
21	Nijerya

3.2 Susam Analizleri

Susam örneklerinde yabancı madde analizi, bozuk tane analizi, nem analizi, toplam kül analizi ve %10'luk hidroklorik asitte çözünmeyen kül analizi Türk Gıda Kodeksi ve Amerikan Resmi Analitik Kimyacılar Birliği (AOAC) tarafından önerilen standart yöntemler kullanılarak analiz edilmiştir (AOAC, 2005). Bu analizlere ait deneysel yöntemler aşağıda açıklanmıştır. Fiziksel analizlerde ölçümler üç tekrarlı, kimyasal analizlerde ölçümler iki tekrarlı yapılarak sonuçların ortalamaları alınmıştır.

3.2.1 Yabancı Madde Analizi

Yabancı madde analizi TS 2947 EN ISO 658 (2005) yöntemine göre yapılmıştır. Yöntem, susam tohumları arasında bulunan kendinden başka her türlü maddelerin (kum, taş, toprak, kabuk, bitkisel parçalar, yabancı tohumlar vb.) elenmesi ve ayıklanması ilkesine dayanır. En az 0,1 g yaklaşımla tartılan numune elek ve cımbız ile ince kabuk parçaları, yağsız ve yağlı yabancı maddeler olarak kategorize edilir. Sonuçlar gösterilirken, toplam yabancı madde muhtevası ağırlıkça yüzde olarak ifade edilmiştir. Susam numunelerinde yabancı madde

içeriği tayin edilerek Eşitlik 3.1'e göre hesaplama yapılmıştır.

$$\text{Toplam yabancı madde miktarı (\%)} = \frac{m_1}{m_2} \times 100 \quad (3.1)$$

Eşitlik 3.1'de; m_1 : Analiz numunesinden ayrılan, ince kabuklar ve ana türlerin tohumlarından daha iri yabancı maddeler kısmının ağırlığı (g),
 m_2 : Analiz numunesinin başlangıç ağırlığı (g) olarak verilmiştir.

3.2.2 Bozuk Tane Analizi

Bozuk tane analizi TS 311 (2005) yöntemine göre yapılmıştır. Yöntem acılaşmış, nem almış, küflenmiş, çürümüş, böcek yenikli, filizlenmiş, kızışmış, donuk renkli ve yapışkan susam tohumlarının ağırlıklarının ölçülmesi ilkesine dayanır ve ağırlıkça yüzde olarak değerlendirilir. Sonuçlar gösterilirken, toplam yabancı madde muhtevası ağırlıkça yüzde olarak ifade edilir. 10 g susam örneği en az 0,1 g hassasiyete sahip terazide tartıldıktan sonra tartılan numunede gözle tespit edilen bozuk taneler ayrıldı ve kalan temiz susam tohumları tekrar tartılarak ölçüm kaydedilerek Eşitlik 3.2'ye göre hesaplama yapılmıştır.

$$\text{Bozuk tane miktarı (\%)} = \frac{m_1}{m_2} \times 100 \quad (3.2)$$

Eşitlik 3.2'de m_1 : Tüm analiz numunesinden ayrılan, bozuk tane kısmının ağırlığı (g),
 m_2 : Analiz numunesinin başlangıç ağırlığı (g) olarak verilmiştir.

3.2.3 Nem Analizi

Nem analizi AOAC (2005) yöntemine göre yapılmıştır. Susam numunesinden 5 g tartılarak darası alınarak sabit tartıma getirilmiş porselen kaba (m) homojen bir şekilde yayıldı (m_1). Daha sonra kap 105 °C'ye ayarlı etüve yerleştirilmiş, 105 °C ± 2°C'de sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur. Kurutma işlemi sonrasında desikatörde soğutulup tartım yapılarak (m_2) Eşitlik 3.3'e göre hesaplama yapılmıştır.

$$\text{Nem miktarı (\%)} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m} \times 100 \quad (3.3)$$

Eşitlik 3.3'te m: Darası alınmış ağırlığı (g),
 m_1 : Numunelerle birlikte kabın ağırlığı (g),
 m_2 : Kabın ağırlığı + fırında kurutulduktan sonraki ağırlık (g) olarak verilmiştir.

3.2.4 Toplam Kül Analizi

Kül analizi AOAC (2005) yöntemine göre yapılmıştır. 500 °C’de sabit tartıma getirildikten sonra desikatörde soğutulan porselen krozelere 0,0001 g yaklaşımla 1 g susam örneği tartılmıştır. Krozeler ön yakma işlemi (duman çıkana kadar bir bekin mavi alevinde yakma işlemi) sonrası 500 °C ± 5 °C’de tutulan kül fırınında 4 saat yakılmıştır. Yakma işlemi sonrası desikatörde soğutuldu ve ağırlığı kaydedildi. Sonuçlar gösterilirken, toplam kül miktarı kuru maddede yüzde olarak ifade edilmiştir. Sonuçlar Eşitlik 3.4’e göre hesaplanmıştır.

$$\text{Toplam kül miktarı (\%)} = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100 \quad (3.4)$$

Eşitlik 3.4’te m_1 : Kapsül ağırlığı (g),

m_2 : Deney numunesi kapsül ağırlığı (g),

m_3 : Geri kalan kalıntı ve kapsülün ağırlığı (g) olarak verilmiştir.

3.2.5 %10'luk Hidroklorik Asitte Çözünmeyen Kül Analizi

%10'luk Hidroklorik asitte çözünmeyen kül analizi TS 2133 ISO 930 (2001) yöntemine göre yapılmıştır. Yöntem toplam külün hidroklorik asit ile işleme tabi tutulması, süzülmesi, yakılması ve kalıntılarının tartılması esasına dayanır. Toplam kül muhtevası analizi yapıldıktan sonra geri kalan toplam kül, deney numunesi olarak kullanılmıştır. Hazırlanan toplam külün bulunduğu kapsüle 15 mL hidroklorik asit çözeltisi ilave edilmiştir. Çözelti kaynar su banyosunda yaklaşık 10 dakika ısıtıldı ve kapsülün içerisindekiler süzgeç kâğıdı ile süzülmüştür. Kapsül ve süzgeç kâğıdı sıcak su ile, yıkama sularında hiç hidroklorik asit kalmayınca kadar (6 ila 8 defa) yıkanmıştır. Süzgeç kâğıdı kalıntı ile birlikte porselen kroze yerleştirilmiş ve 550 °C’ye ayarlanmış kül fırınında yakılmıştır. Kroze desikatörde soğutuldu ve 0,0001 g yaklaşımla tartıldı. Asitte çözünmeyen kül miktarı, (%) ağırlıkça yüzde olarak Eşitlik 3.5 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Asitte çözünmeyen kül miktarı (\%)} = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100 \quad (3.5)$$

Eşitlik 3.5’te m_1 : Boş kapsül ağırlığı (g),

m_2 : Boş kapsülün ağırlığı (g),

m_3 : Kapsül ve deney numunesinin ağırlığı (g),

m_3 : Geri kalan kalıntı ve kapsülün ağırlığı (g) olarak verilmiştir.

3.3 Tahin Analizleri

Tahin örneklerinde nem, protein, yağ, kül ve mineral analizleri AOAC (2005) ve (NMKL 186.2007)'de ifade edilen analiz yöntemleri kullanılarak iki tekrarlı olarak analiz edilmiştir.

3.3.1 Nem Analizi

5 g tahin numunesinin nem içeriği Bölüm 3.2.3'te ayrıntıları verilen yönteme göre belirlenmiştir.

3.3.2 Protein Analizi

Tahin numunelerinin protein içeriği Kjeldahl yöntemine göre belirlenmiştir (AOAC, 2005). Bu yöntemde numune yaş özütleme, damıtma ve titrasyon işlemlerinden geçirilmiştir. 3 g numune kaynatma tüpüne aktarıldıktan sonra üzerine 25 ml konsantre H₂SO₄ ve 0,15 g TiO₂, 5 g K₂SO₄ ve 0,15 g CuSO₄ içeren bir küp katalizör tableti ilave edilmiştir. Yaş özütlemenin gerçekleşmesini sağlamak için tüp çok düşük sıcaklıkta ısıtılmıştır. Özütlenen numune daha sonra 100 ml damıtılmış su, 5 ml Na₂S₂O₃ ve 10 ml %40 NaOH ile seyreltilmiştir. Büyüme önleyici madde ilave edildikten sonra ürün numunesi tekrar 10 ml borik asit ile seyreltilmiştir. Damıtılan numune önceden ayarlanmış 0,1 N standartlarındaki HCl çözeltisi ile titre edilmiş ve numunedeki NH₄ içeriği titrasyonda harcanan asit miktarına göre hesaplanmıştır. Kör numune aynı analiz şartlarında analiz edildi. Elde edilen azot değeri daha sonra bir dönüşüm faktörü ile çarpıldı ve Eşitlik 3.6'ya göre hesaplama yapılmıştır.

$$\text{Protein miktarı (\%)} = \frac{m_2 - m_1 \times 0,1 \text{ N HCl} \times 0,014 \times 6,25}{m_3} \times 100 \quad (3.6)$$

Eşitlik 3.6'de m₁: Kör numunenin titre değeri,

m₂: Numunenin titre değeri,

m₃ : Gıda numunesinin ağırlığı (g) olarak verilmiştir.

3.3.3 Yağ Analizi

Tahin numunelerinde yağ analizi, Soxhlet yöntemine göre yapılmıştır (AOAC, 2005). Filtre kağıdından hazırlanan bir kartuş içerisine 10 g tahin numunesi tartılarak ekstraksiyonun yapılacağı hazneye yerleştirilmiştir. Numunedan özütlenen yağın toplanacağı cam kap kullanımdan önce düzgün bir şekilde temizlenmiş, etüvde (Nüve, Türkiye) kurutuldu ve desikatörde soğutulduktan sonra darası alınmıştır. Özütlemenin yapılacağı hazneye 25 ml petrol eteri aktarılmış ve soxhlet düzeneğinde 3-4 saat boyunca özütleme işlemi

gerçekleştirilmiştir. Özütleme işleminin tamamlanmasının ardından numune içinde bulunan çözücü döner buharlaştırıcı ile uzaklaştırılmıştır. Elde edilen yağdan çözücü tamamen uzaklaştırmak için cam numune kapları 105 °C'ye ayarlı etüvde bekletilmiştir. Tahin numunelerinde ham yağ içeriği (%) Eşitlik 3.7 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Toplam yağ miktarı (\%)} = \frac{m_1}{m_2} \times 100 \quad (3.7)$$

Eşitlik 3.7'de m_1 : Yağ ekstraktının ağırlığı (g),
 m_2 : Gıda numunesinin ağırlığı (g) olarak verilmiştir.

3.3.4 Kül Analizi

Tahin numunesinin kül içeriği Bölüm 3.2.4'te ayrıntıları verilen yöntemle göre belirlenmiştir.

3.4 Susam ve Tahin Örneklerinde Mineral Analizleri

Gıda örneklerinde mineral analizleri organik kısmın kapalı sistem mikrodalga çözümleme ünitelerinde asit yardımı ile parçalanması ve geriye kalan inorganik kısımdaki minerallerinin ICP-MS cihazı ile tespit edilmesi esasına dayanır (NMKL 186.2007). Susam ve tahin örneklerinde mineral analizleri ICP-MS (Agilent, Amerika) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numunelerin ön hazırlık işleminde Suprapur Grade %65 (m/m) HNO₃ (Merck, Almanya) ve %30 H₂O₂ (m/m) (Merck, Almanya) çözeltileri kullanılmıştır. ICP-MS sisteminde kullanılan Argon gazı %99,99 saflıktadır. ICP-MS sisteminde standart olarak 1000 mg/kg (Merck, Almanya) sertifikalı standartlar kullanılmıştır. Mikrodalga yakma ünitesi olarak (Milestone Ethos One, İtalya) kullanılmıştır. Tez çalışmasında kullanılan ICP-MS cihazı, mikrodalga yakma ünitesi ve ekipmanlar Ek C'de yer alan Şekil C.1-C3'te gösterilmiştir. Tablo 3.3'te ICP-MS sisteminde kullanılan çalışma şartları gösterilmiştir.

Susam ve tahin numuneleri ilk olarak vessel adı verilen teflon yapıdaki kaplara 0,2-1 g değişen ağırlıkta tartımı yapıldı ve değerler kaydedilmiştir. Ardından numunelere 9 ml %65 (m/m) HNO₃ nitrik asit ve 1 ml%30 H₂O₂ eklenmiştir. Mikrodalga yakma ünitesine yerleştirilen teflon kaplar 180 °C'ye kadar ısıtılmış bu sıcaklık değerinde 10 dk sabit kaldıktan sonra 72 °C sıcaklığında üniteden çıkarılıp soğumaya bırakılmıştır. Oda sıcaklığına gelen teflon kaplar vessel açma ünitesinde açılmış 50 ml'lik deney tüplerine aktarıldıktan sonra saf su ile 50 ml'ye tamamlanmıştır.

Tablo 3.3: ICP-MS çalışma şartları.

Parametre	Değer
Cihaz gücü (W)	1550
Argon gazı basıncı (kPa)	650-750
Cihaz basıncı (kPa)	$2,4 \times 10^{-5}$
Cihaz gücü (W)	1550
Plazma gazı akış hızı (l/dk)	15
Taşıyıcı gaz akış hızı (l/dk)	1
Dilüsyon gaz akış hızı (l/dk)	1
Helyum gaz akış hızı (l/dk)	5
Püskürtme odası sıcaklığı (°C)	2

1000 mg/L (ppm)'lik standart stok çözeltileri (Merck, Almanya) kullanılarak ara stok çözeltileri ve karışım çözeltileri elde edilmiştir. Minerallere ait kalibrasyon aralıkları ppm cinsinden şu şekildedir: Na, Mg, P, K ve Ca (0-10-20-50-100-200); Cu, Fe, Sn, Mn, Zn, Se, Al, B, Cr ve Ni (0-0,005-0,010-0,020-0,050-0,100); As, Pb, Cd, Hg ve Sb (0-0,002-0,005-0,010-0,020-0,050).

Susam tohumlarında sağlık risk değerlendirmelerini belirlemek amacıyla tahmini günlük alım düzeyi (EDI), hedef tehlike katsayısı (THQ) ve tehlike indeksi (HI) değerlendirilmiştir. EDI; gıdadan insanlara gıda kontaminant transferinin tahmini için yaygın olarak kullanılan bir indekstir ve tüketilen gıdanın miktarına, tüketim süresine ve kontaminasyon düzeyine bağlıdır. THQ; uzun süreli maruz kalma, yutulan miktar ve vücut ağırlığı ile ilişkili boyutsuz bir risk indeksidir. Kimyasal kirleticilere uzun süre maruz kalmayla ilişkili potansiyel sağlık risklerinin tahmini için USEPA tarafından geliştirilmiştir. Maruz kalma süresi ve sıklığı, alınan miktar ve vücut ağırlığıyla ölçülen konsantrasyon ile oral referans doz arasındaki oran olarak tanımlanmaktadır. THQ, ilgili toksik minerale maruz kalmanın neden olduğu kanserojen olmayan sağlık riskini göstermektedir. HI ise THQ değerlerinin toplamı olup, 1 değerinden büyük olması maruz kalma seviyesinin güvenli referans sınırdan daha yüksek olduğunu ve potansiyel bir sağlık riski olasılığını göstermektedir (Yalçın ve Çakmak 2023; USEPA 2024). Analizler sonucunda susam numunelerinde saptanan Cu, Zn ve Fe yoğunluklarına göre EDI, THQ ve HI değerleri Eşitlik 3.8 ve Eşitlik 3.9'a göre hesaplanmıştır.

$$EDI = \frac{Cs \times Di}{BW} \times 100 \quad (3.8)$$

Eşitlik 3.8’de EDI: Tahmini günlük metal alımı (mg/kg),

Cs: Metal konsantrasyonu (mg/kg),

Di: Günlük ortalama metal alımı (g/gün/insan),

BW: Yetişkinlerin vücut ağırlığı (kg) olarak verilmiştir.

Burada numune analizleri sonucu elde edilen Cs değerleri, USEPA (2024) tarafından belirlenen Di ve BW değerleri girildikten sonra formül sonucu EDI değerleri Eşitlik 3.9’da kullanılmıştır. Di değeri erkeklerde 70, kadınlarda 63 g/gün/insan; BW erkeklerde 67, kadınlarda 62,3 kg olarak referans alınmıştır (USEPA, 2024).

$$THQ = \frac{EDI}{RfD} \quad (3.9)$$

Eşitlik 3.9’da THQ: Tahmini günlük metal alımı (mg/kg),

THQ: Hedef tehlike katsayısı,

RfD: Metalin referans dozu (mg/kg/gün) olarak verilmiştir.

Burada Eşitlik 3.8 sonucu elde edilen EDI değerleri, USEPA (2024) tarafından belirlenen RfD değerleri girildikten sonra formül sonucu THQ değerleri bulunmuştur. Eşitlik 3.9’da kullanılan RfD değeri Cu mineralinde 0,04, Zn mineralinde 0,30 ve Fe mineralinde 0,70 mg/kg/gün olarak belirlenmiştir.

3.5 Susam Tohumunda Kabuk Soyma

3.5.1 Geleneksel Yöntem ile Kabuk Soyma

Geleneksel yöntemde 5 gram tartılan susam tohumları önce 8 saat 50 ml saf su içerisinde daha sonra 50 ml yüzde 10’luk tuzlu su (NaCl) çözeltisi (40 °C) içerisinde 1 saat bekletilmiştir. Bekletme işlemi sonrasında susam tohumları 150 ml saf su ile durulanıp, filtre kâğıdı üzerine serilerek 12 saat boyunca oda sıcaklığında bekletilmiştir. Kabuk soyma işlemi iki filtre kâğıdı arasına yerleştirilen susam tohumlarının ileri geri on kez hareket ettirilmesi sureti ile uygulanmıştır. Ayrılan susam tohumlarının ağırlığı hassas terazide tartıldı ve uzaklaşan kabuk oranı (%) Eşitlik 3.10’a göre hesaplanmıştır (Tanrıverdi, 2017). Analizler üç tekrarlı yapılarak ortalama alınmıştır.

$$\text{Uzaklaşan kabuk oranı (\%)} = \frac{m_1 - m_2}{m_3} \times 100 \quad (3.10)$$

Eşitlik 3.10'da m_1 : Susam numunesinin kurutma sonrası alınan tartımı (g),

m_2 : Kabuk soyma ve kurutma sonrası alınan tartım (g),

m_3 : Susam tohumu miktarı (g) olarak verilmiştir.

3.5.2 Ultrases Yöntemi ile Kabuk Soyma

Ultrases yönteminin ayarlanabilir güç-süre parametreleri ile susam tohumun kabuğunun soyulması ile ilgili ön deneme çalışmaları yapılarak ultrases sisteminde kullanılacak parametrelerin seviyelerine karar verilmiştir. Ultrases ile kabuk soyma işleminde kullanılan ultrases cihazı (Bandelin Sonoplus, HD 2200.2, Almanya) ile 130 mm uzunluğunda ve 13 mm çapındaki ultrases probu Ek C'de yer alan Şekil C.4'te gösterilmiştir. Cihaza ait çalışma şartları Tablo 3.4'te gösterilmiştir.

Tablo 3.4: Ultrases cihazına ait bazı çalışma şartları.

Parametre	Birim	Değer
Çalışma hacmi	ml	2-1000
HF gücü	watt	200
Güç kontrolü	%	10-100
Zaman kontrolü	dk	0-99
Proses frekansı	khz	20

Cihazda bağımsız değişkenler olarak güç miktarı iki farklı seviyede %50 ve %100 genlik; işlem süresi ise 5, 10 ve 15 dk olmak üzere üç seviyede çalışılmıştır. Ultrases işlemi öncesinde cam bir kavanoza 5 g tartılan susam numunesi %10'luk tuzlu su çözeltisi ile karıştırılmıştır. Tuzlu su ile karıştırılan susam numunesi farklı ultrases işlem şartlarında işlem gördükten sonra kaba filtre kağıdından süzümüştür. Süzüntü 150 ml saf su ile durulandıktan sonra 12 saat boyunca oda sıcaklığında bekletilerek kurutulmuştur. Kurutulan susam tohumları iki filtre kağıdı arasında ileri geri on kez hareket ettirilmesi sureti ile kabuklarından ayrıştırılmıştır. Ayrılan susam tohumlarının ağırlığı hassas terazide tartılmış ve uzaklaşan kabuk oranı (%) Bölüm 3.5.1'de ayrıntıları verilen yöntemle göre belirlenmiştir.

3.5.3 Mineral Analizi

Geleneksel ve ultrases yöntemi ile kabuk soyma işlemlerinin susam tohumunun mineral içerikleri üzerine etkisini belirlemek amacı ile Bölüm 3.5.1 ve 3.5.2’de elde edilen numunelerde mikro, makro ve ağır metal minerallerin analizleri gerçekleştirilmiştir. Mineral analizleri Bölüm 3.4’te ayrıntıları ile verilen ICP-MS yöntemi ile yapılmıştır. Ön deneme çalışmalarında ayrıca geleneksel yöntem ile soyulan bazı susam örneklerinde bütün tohum ve kabuksuz iç kısımda mineral analizleri yapılarak geleneksel kabuk soyma işleminin susamın mineral içeriği üzerine etkisi de belirlenmiştir.

3.6 İstatistiksel Analiz

Analizlerden elde edilen deneysel veriler IBM SPSS Statistics 20 paket programı kullanılarak istatistiki açıdan değerlendirilmiştir. Varyans analiz tekniği ile (ANOVA) grup ortalamaları arasındaki farklar belirlenmiştir. Önemli bulunan ana varyasyon kaynaklarının ortalamaları Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi ile karşılaştırılmıştır ($p < 0,05$).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Susam Numunelerinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Tez çalışmasına konu susam numunelerine uygulanan fiziksel ve kimyasal analizler sonucu elde edilen veriler Tablo 4.1’de sunulmaktadır. Tablo 4.1’de sunulan veriler incelendiğinde susam numunelerindeki toplam yabancı madde miktarı %0,8-1,9 ve bozuk tane miktarı ise %0,1-1,1 değişmektedir. Susam numunelerinde nem içeriğinin %4,1-6,7, toplam kül miktarının %1,8-6,0 ve %10’luk HCl’de çözünmeyen kül miktarının ise %0,1-2,7 değiştiği görülmektedir. Analiz edilen yerli ve ithal susam tohumlarında toplam yabancı madde miktarı ve toplam kül miktarı arasında istatistiki olarak önemli fark ($p < 0,05$) bulunmaktadır. (Ek B: Tablo B.1).

Türk Gıda Kodeksi Baharat Tebliğinde (Tebliğ No:2022/7) susam tohumu için verilen değerler dikkate alındığında toplam yabancı madde miktarı en çok %2, bozuk tane miktarı en çok %1, nem miktarı en çok %8, toplam kül miktarı en çok %5, %10’luk HCl’de çözünmeyen kül miktarının ise en çok %1 olması gerektiği bildirilmiştir. Bu değerler dikkate alındığında araştırmada analiz edilen susam numunelerinin toplam yabancı madde, nem miktarı ve bozuk tane analizlerinde elde edilen sonuçlarının uygun olduğu tespit edilmiştir. Toplam kül miktarı analizinde üç numunenin (Antalya, Balıkesir-2 ve Muğla) ve %10’luk HCl’de çözünmeyen kül miktarı analizinde de üç numunenin (Antalya, Manavgat ve Senegal) değerlendirme limitinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

Mi ve ark. (2022), yaptıkları çalışmada Togo, Sudan, Mozambik susam tohumlarında sırasıyla % olarak nem miktarını 4,49, 4,64, 4,76 ve kül miktarını 11,68, 10,64, 11,08 bulmuştur. Bu çalışmadaki nem miktarı analizi sonucunun Mi ve arkadaşlarının (2022) çalışmasında bildirilen ile benzerlik gösterdiği (%6,1; %4,4; %4,7); ancak kül miktarı analizi sonucunun (%3,7; %2,6; %2,6) önemli ölçüde düşük olduğu görülmüştür.

Saeed ve ark. (2015), yaptıkları çalışmada Pakistan bölgesine ait susamlarda beyaz, siyah ve kahverengi susam tohumlarında nem miktarını sırasıyla %3,290, %4,226, %3,557 ve kül miktarını %11,291, %8,127, %7,484 bulmuştur. Bu çalışmadaki kahverengi Pakistan susam tohumunun nem miktarı analizi sonucunun Saeed ve arkadaşlarının (2015) çalışmasında bildirilenden yüksek olduğu (%5,8); ancak kül miktarı analizi sonucunun (%3,5) önemli ölçüde düşük olduğu görülmüştür.

Bamigboye ve ark. (2010), yaptıkları çalışmada Nijerya’da yetiştirilen susam tohumu çeşidinde % olarak nem miktarını 5,2 ve kül miktarını 6,2 bulmuştur. Bu çalışmadaki Nijerya susam tohumunun nem miktarı analizi sonucunun Saeed ve arkadaşlarının (2015) çalışmasında bildirilenden yüksek olduğu (%5,7); ancak kül miktarı analizi sonucunun (%3,5) önemli ölçüde düşük olduğu görülmüştür.

Tablo 4.1: Yerel susam tohumlarının fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları.

Susam menşei	Toplam yabancı madde miktarı (%)	Nem miktarı (%)	Toplam kül miktarı (% , kuru madde)	%10'luk HCl'de çözünmeyen kül miktarı (%)	Bozuk tane miktarı (%)
Antalya	1,2	4,1	5,4	2,7	0,3
Manavgat	1,5	4,8	3,2	1,4	0,4
Balıkesir	1,8	4,3	2,8	0,7	0,1
Balıkesir-2	1,5	4,7	5,3	0,7	0,3
Muğla	1,4	5,3	6,0	0,4	0,2
Konya	1,3	4,1	4,9	0,5	0,1
Brezilya	0,8	3,1	3,5	0,7	0,1
Sudan	1,3	4,4	4,2	0,5	0,1
Burkina	1,7	4,6	3,3	0,6	0,3
Pakistan	1,9	5,2	4,4	0,7	0,2
Sudan-2	1,1	4,1	2,3	0,2	0,1
Brezilya-2	0,9	5,2	2,1	0,1	0,3
Arjantin	0,7	6,7	3,7	0,5	0,5
Senegal	1,3	6,1	1,8	1,1	0,1
Pakistan-2	1,4	5,8	3,5	0,9	0,6
Kenya	0,9	5,1	3,0	0,7	0,4
Gana	1,2	4,4	2,7	0,3	0,5
Sudan-3	1,5	4,8	2,6	0,3	0,1
Burkina-2	1,3	5,3	2,1	0,5	0,2
Togo	1,1	6,1	3,7	0,7	0,6
Venezuela	0,8	6,0	3,3	0,2	0,4
Nijerya	0,9	5,7	3,5	0,9	0,5
Nijerya-2	1,1	5,1	4,1	1,0	1,1
Paraguay	1,2	5,2	4,7	0,8	0,7
Kenya-2	1,4	4,9	4,9	0,7	0,4
Mozambik	1,1	4,7	2,6	0,4	0,3
Bolivya	1,4	4,2	2,5	0,6	0,1
Hindistan	1,3	5,1	3,7	0,5	0,5

4.2 Susam Numunelerinin Mineral Analiz Sonuçları

Susam numunelerinin mineral analizleri sonucu elde edilen veriler Tablo 4.2 ve 4.3'te sunulmaktadır. Tablo 4.2 ve 4.3'te sunulan veriler incelendiğinde susam numunelerindeki mineral içeriği mg/kg açısından Cu: 10,428-78,161, Fe: 36,247-1393,126, Sn: 0,010-0,685, Mn: 9,950-173,716, Zn: 26,362-201,939, Se: 0,002-6,338, Al: 2,685-466,775, B: 5,787-48,394, Cr: 0,038-6,475, Ni: 1,154-244,897, Na: 0,355-217,580, Mg: 1796,734-4601,327, P: 2815,115-7601,267, K: 2472,112-7834,707, Ca: 4543,432-13049,577, As: 0,005-0,460, Pb: 0,008-0,217, Cd: 0,001-1,106, Hg: 0-1,117 ve Sb: 0,003-0,438 aralığında değişmektedir. Analiz edilen yerli ve ithal susam tohumlarında mikro minerallerden Cu, Fe, Sn, Mn, Zn ve Ni; makro minerallerden Na, Mg, P, K ve Ca; ağır metallere Sb arasında istatistiksel olarak önemli fark ($p < 0,05$) bulunmaktadır. (Ek B: Tablo B.2- B.3).

İnsan beslenmesinde günlük ihtiyacın 250 mg'ın üzerinde olan mineraller makro mineraller olarak ifade edilir. Bunlar Na, Mg, P, K, Cl ve Ca mineralleridir. Bunun yanı sıra Fe, Cr, Mn, Mo, Se, Cu, I, Co, F ve Zn günlük gereksinmemizin 20 mg'ın altında olduğu iz minerallerdir ve mikro mineraller olarak da isimlendirilmektedir (Samur, 2008). ICP-MS ile yapılan mineral analizleri sonucunda 28 adet susam örneğinde elde edilen veriler mikro mineral içeriği olarak Tablo 4.2'de; makro mineral ve ağır metal içerikleri olarak Tablo 4.3'te sunulmaktadır. Literatürde susam tohumunun mineral içeriğinin incelendiği çalışmalarda analiz edilen mineral sayısı sınırlı bulunmakla birlikte çoğunlukla Ca, Fe, Zn, Mn, Na, Cu gibi mineraller açısından incelenmiştir (Hika ve ark. 2023; Özcan ve ark. 2023). Bu tez çalışmasında susam numuneleri toplamda 20 farklı mineral içeriği açısından hem nitel hem de nicel olarak analiz edilmiş olup çok geniş bir spektrumda susam numunelerinin mineral içeriği ortaya konmuştur. Susam örneklerinde Ca, K, P ve Mg miktar olarak en çok bulunan minerallerdir (Tablo 4.2-4.3). Fe, Mn, Zn, Al, Ni ve Cu mineralleri susam numunelerinde daha az miktarda bulunmaktadır. Cr, Na, Se, B ve Sn mineralleri ise susam tohumunda düşük miktarda belirlenen diğer minerallerdir (Tablo 4.2-4.3).

Nzikou ve ark. (2009), susam tohum ve yağının kimyasal içeriğini araştırdıkları çalışmada susam tohumunun önemli bir mineral kaynağı olduğunu belirterek susam tohumunda en fazla bulunan mineralin K olduğunu, bunu sırasıyla P, Mg, Ca ve Na minerallerinin takip ettiğini bildirmişlerdir. Adı geçen araştırmada bildirilen sonuçlar, bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlarla uyum içerisindedir.

Tüm susam numunelerinde ölçülen ortalama mikro mineral içerikleri sırasıyla Cu: 26,149; Fe: 246,598; Sn: 0,083; Mn: 37,380; Zn: 69,034; Se: 1,212; Al: 91,512; B: 15,417; Cr: 0,669; ve Ni: 89,629 mg/kg'dır. Cu hücrel metabolizma sırasında kullanılır; birçok önemli enzimin çalışmasını sağlar ve ayrıca hemoglobin, miyelin ve melanin oluşumuna yardımcı olur. Yeterli Ca özellikle kemik sağlığı açısından önemlidir. Fe elektron transfer reaksiyonları, gen regülasyonu, hücre büyümesi ve farklılaşması, oksijenin bağlanması ve taşınması gibi metabolizma faaliyetinde gereklidir ve bağışıklık sisteminin çalışmasında önemli görevleri bulunmaktadır. Mn antioksidan özelliği olan birçok enzim için bir kofaktördür ve antioksidan enzim karbonhidratlarda, proteinlerde ve yağlarda rol oynar. Zn, antioksidan savunma hastalıklarında önemli bir rol oynar. Zn eksikliği bozulmuş glikoz toleransı gibi metabolik anormalliklerle ilişkilendirilmiştir (Badu ve ark., 2020; FAO/WHO, 2001).

Çalışılan susam numunelerinde mikro mineral açısından Cu, Fe, Mn, Sn, Zn, Se, Al, B ve Ni yerli susam numunelerinde daha yüksek değerde bulunurken; Al ve Cr mineralleri ithal susam numunelerinde daha yüksek değerde bulunmuştur. Makro mineraller açısından Mg, P, K ve Ca yerli susam numunelerinde daha yüksek değerde bulunurken; Na mineralleri ithal susam numunelerinde daha yüksek değerde bulunmuştur. Ağır metal açısından yerli susam numunelerinde As daha yüksek değerde bulunurken; Pb, Cd, Hg ve Sb mineralleri ithal susam numunelerinde daha yüksek değerde bulunmuştur (Tablo 4.2-3).

Mi ve ark. (2022), Togo, Sudan ve Mozambik'te yetiştirilen susam tohumlarını ayırt etmek için yaptıkları çalışmada mg/kg cinsinden B içeriğini sırasıyla 7,18, 7,55 ve 10,85; Mn içeriğini sırasıyla 12,61, 12,30 ve 13,19 ve Se içeriğini sırasıyla 0,17, 0,17 ve 0,05 olarak bildirmiştir. Yapılan çalışmada B, Mn ve Se mikro mineral değerleri açısından istatistiki olarak anlamlı bir farklılık olduğunu bildirmişlerdir. Bu tez çalışmasındaki B içeriğinin Mi ve arkadaşlarının (2022) çalışmasında bildirilenle benzerlik gösterdiği (9,020, 5,787 ve 12,744 mg/kg); Mn içeriğinin Mi ve arkadaşlarının (2022) çalışmasında bildirilenden daha yüksek olduğu (23,434, 36,226 ve 16,838 mg/kg) ve Se içeriğinin (0,008, 0,002 ve 0,450 mg/kg) iki sonucun Mi ve arkadaşlarının (2022) çalışmasında bildirilenden daha düşük olduğu görülmüştür. Yine aynı çalışmada Na içeriğini 27,33; 23,77 ve 23,59 mg/kg; K içeriğini sırasıyla 4999,73; 4932,14; 6693,73 mg/kg ve P içeriğini sırasıyla 6056,71; 5941,16 ve 3459,74 mg/kg olarak bildirmiştir. Bu tez çalışmasında Na, K ve P makro mineral değerleri açısından istatistiki olarak anlamlı bir farklılık olduğunu bildirmiştir. Bu tez

çalışmasındaki Na içeriğinin (18,389; 12,778 ve 2,546 mg/kg); K içeriğinin (3529,337; 2683,785 ve 4213,329 mg/kg) ve P içeriğinin (3060,075; 3629,320 ve 5361,006 mg/kg) Mi ve arkadaşlarının (2022) çalışmasında bildirilenden daha düşük olduğu görülmüştür.

Saeed ve ark. (2015), Pakistan bölgesine ait beyaz, siyah ve kahverengi olmak üzere üç farklı kabuk rengine sahip tohum üzerine yapılan çalışmada mg/kg cinsinden Fe içeriğini sırasıyla 2,1667, 8,566 ve 7,533 ve Zn içeriğini sırasıyla 0,600, 0,7667 ve 0,5667 olarak bildirmiştir. Yapılan çalışmada Fe ve Zn içerikleri açısından istatistiki olarak anlamlı bir farklılık olduğu bildirilmiştir. Bu tez çalışmasında kullanılan kahverengi Pakistan susamı numunesinin Fe ve Zn içeriğinin (263,226 ve 94,964 mg/kg) Saeed ve arkadaşlarının (2015) çalışmasında bildirilenden oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Bamigboye ve ark. (2010), yaptıkları çalışmada Nijerya'da yetiştirilen susam tohumu çeşidinde Fe, Mn ve Zn içeriğini mg/kg cinsinden sırasıyla 38,3, 10,3 ve 44,6 olarak bulmuştur. Bu çalışmada kullanılan Nijerya susamı numunesinde ise Fe (428,443 mg/kg) ve Mn içeriği (24,438 mg/kg) Bamigboye ve arkadaşlarının (2010) çalışmasında bildirilenden oldukça yüksek; Zn (33,701 mg/kg) içeriği ise daha düşüktür.

Kassaw ve ark. (2023), dört katılımcı olarak yaptıkları çalışmada Etiyopya'da yetiştirilen susam tohumlarında sağlık risk değerlendirmelerini belirlemek amacıyla tahmini günlük alım düzeyi (EDI), hedef tehlike katsayısı (THQ) ve tehlike indeksi (HI) değerlendirilmiştir. Analizler sonucunda susam numunelerinde saptanan Cu, Zn ve Fe yoğunluklarına göre EDI, THQ ve HI değerleri Eşitlik 3.8 ve 3.9'a göre hesaplanmıştır.

Yapılan mineral analizleri sonucu hedef tehlike oranı (THQ) değerlerini Cu minerali için erkeklerde 1,28-1,31 arasında, kadınlarda 1,18-1,21 arasında; Zn minerali için erkeklerde 2,76-3,21 arasında, kadınlarda 2,55-2,96 arasında ve Fe minerali için erkeklerde 1,83-1,95 arasında, kadınlarda 1,68-1,79 arasında bulmuştur. Tehlike indeksi (HI) değerlerini ise erkeklerde 1,76-4,27 arasında, kadınlarda 1,60-1,66 arasında bulmuştur. Bu çalışmadaki susam tohumlarının Cu, Zn ve Fe mineralleri için bulunan hedef tehlike oranı (THQ) ve tehlike indeksi (HI) değerleri Tablo 4.4'te gösterilmiştir. Tablo 4.4'te gösterilmiş olan THQ ve HI değerleri birimsiz olup 10^{-3} ile çarpım şeklinde gösterilmiştir. Bu tez çalışmasında kullanılan susam tohumlarında tehlike indeksi (HI) değerleri ise erkeklerde (0,45-3,59), kadınlarda (0,41-3,31) bulmuştur. HI değerleri benzer şekilde 1'den küçük olduğu için

susam tüketiminin yerel tüketiciler için sağlık açısından risk oluşturmayabileceği değerlendirilmektedir.

Saeed ve ark. (2015), Pakistan bölgesine ait beyaz, siyah ve kahverengi olmak üzere üç farklı kabuk rengine sahip tohum üzerine yapılan çalışmada mg/kg cinsinden Ca içeriğini sırasıyla 638,33, 703,33 ve 451,67; Mg içeriğini sırasıyla 566,6, 366,6 ve 366,6 ve K içeriğini sırasıyla 42,500, 54,003 ve 53,667 olarak bildirmiştir. Yapılan çalışmada Ca, Mg ve K makro mineral değerleri açısından istatistiki olarak anlamlı bir farklılık olduğu bildirilmiştir. Bu tez çalışmasında kullanılan kahverengi Pakistan susamı numunesinin Ca, Mg ve K içeriğinin (7682,567; 2338,004 ve 3685,834 mg/kg) Saeed ve arkadaşlarının (2015) çalışmasında bildirilenden oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Bamigboye ve ark. (2010), yaptıkları çalışmada Nijerya'da yetiştirilen susam tohumu çeşidinde K, Na, Ca ve P içeriğini mg/kg cinsinden sırasıyla 1067, 361, 2811 ve 1570 olarak bulmuştur. Bu çalışmada kullanılan Nijerya susamı numunesinde ise K: 3482,489 mg/kg, Ca: 9303,101 mg/kg ve P: 4277,233 mg/kg Bamigboye ve arkadaşlarının (2010) çalışmasında bildirilenden oldukça yüksek; Na: 0,732 mg/kg ise oldukça düşük bulunmuştur.

Sonuç olarak literatür verileri ve analiz sonuçları incelendiğinde bu çalışmada kullanılan susam tohumlarının mikro ve makro mineral içeriklerinin daha önceki çalışma sonuçlarıyla benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, çalışmalar arasında bazı farklılıkların olduğu da görülmektedir. Susam tohumunun mineral içeriği üzerinde susam kabuk renginin etkili olduğu görülmektedir. Kurt (2018) susam tohumunda Fe içeriğinin kabuk rengi açıldıkça azaldığını tespit etmiştir. Roy ve ark. (2021) yılında yaptıkları çalışmada susam tohum rengi ile mineral içeriği (Ca, P, Mn, Zn, Cu ve Fe mineralleri) arasında bir ilişki olduğunu tespit etmişler, tohum renginin koyulaşması ile mineral içeriğinin arttığını ifade etmişlerdir. Teboul ve ark. (2020) 30 farklı susam genotipini materyal olarak kullandıkları çalışmada mineral içeriği ile susam verim bileşenlerinin ilişkili olduğunu belirtmişler; genetik çeşitliliğe bağlı olarak susam tohumunda bulunan minerallerin oldukça değişkenlik gösterdiğini rapor etmişlerdir.

İnsan faaliyetlerinden kaynaklanan topraktaki ağır metal kirliliği, gıda maddelerine bulaşılabilmesi riski dolayısıyla büyük endişelere neden olmaktadır. Bu tez çalışmasında susam

numunelerinde As, Pb, Cd, Hg ve Sb gibi ağır metallerin varlığı ICP-MS sistemi ile analiz edilmiştir. Bu ağır metallerin susam numunelerindeki ortalama değerleri sırasıyla As 0,062, Pb 0,075, Cd 0,090, Hg 0,113 ve Sb 0,172 mg/kg olarak tespit edilmiştir.

Hao ve ark. (2011), yapmış oldukları çalışmada farklı çeşitlere sahip dört farklı ürün (susam, soya, börülce ve biber) ağır metallerle kirletilmiş toprak seviyeleri yoğun ve hafif olarak tanımlanmış iki ayrı tarlaya dikilmiştir. Çalışmada ürünlerin yenilebilir kısımlarındaki Pb ve Cd birikimi araştırılmıştır. En fazla metal kirliliğinin susam tohumunda olduğu tespit edilmiş ve iki farklı tarlada ekimi yapılan susam tohumlarında da metal konsantrasyonunun Çin Gıda Hijyeni Standardı (Chinese Food Hygiene Standard) ve Codex Alimentarius Komisyon Standardı (Codex Alimentarius Commission Standard) sınırlarının oldukça üstünde olduğu tespit edilmiştir. Hafif oranda kirliliğe sahip tarladan hasat edilen susam tohumunda ölçülen Pb ve Cd miktarları sırasıyla 0,104 ve 0,377 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Hao ve ark (2011) tarafından ölçülen değerler bu tez çalışmasında susam numuneleri (mg/kg cinsinden ortalama Pb: 0,075 ve Cd: 0,090) için tespit edilen değerlerden oldukça düşüktür. Bu tez çalışmasında aynı şehirlerden alınan numuneler incelendiğinde Balıkesir iline ait iki numunede Pb, Cd ve As değerleri sırasıyla 0,018-0,024-0,105 ve 0,016-0,008-0,279 mg/kg olarak bulunmuştur. Bulunan bu değerler farklı tarlalarda toprak kirliliğine bağlı ağır metal içeriğinin değişebileceğini göstermektedir.

Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliğinde (2023) susam için verilen değerler dikkate alındığında Cd miktarının en çok 0,1 mg/kg, Pb miktarının en çok 0,9 mg/kg olması gerektiği bildirilmiştir. Bu değerler dikkate alındığında araştırmada analiz edilen susam numunelerinin Pb miktarı analizlerinde elde edilen sonuçların tüm numunelerde uygun olduğu tespit edilmiştir. Cd miktarı analizlerinde ise dört numunenin (Venezuela, Paraguay, Kenya-2 ve Bolivya) değerlendirme limitinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.2: Susam tohumlarının mikro mineral içeriği (mg/kg).

Susam menşei	Cu	Fe	Sn	Mn	Zn	Se	Al	B	Cr	Ni
Antalya	69,954	405,789	0,069	129,860	201,938	6,337	62,564	23,237	0,393	244,897
Manavgat	65,727	808,988	0,045	79,620	191,481	0,507	283,586	18,303	0,736	244,436
Balikesir	11,526	626,856	0,071	19,819	44,941	0,038	62,514	5,919	0,349	124,025
Balikesir-2	78,161	329,549	0,082	33,781	105,643	0,024	10,252	11,103	0,038	101,272
Muğla	58,876	227,591	0,062	75,938	171,022	0,574	20,053	21,171	0,090	165,928
Konya	72,000	468,093	0,537	102,661	171,774	4,895	98,311	22,545	0,159	202,026
Brezilya	43,401	175,643	0,035	37,869	74,569	0,006	2,685	11,778	0,045	101,742
Sudan	36,834	281,387	0,685	36,226	98,630	0,002	58,698	5,787	0,235	211,238
Burkina	32,845	393,126	0,077	173,716	74,745	0,008	109,985	9,020	0,418	201,413
Pakistan	37,600	263,226	0,041	33,070	94,964	0,008	15,997	5,891	0,712	48,595
Sudan-2	10,583	36,247	0,052	12,378	34,570	0,402	11,630	12,304	0,357	57,262
Brezilya-2	10,428	56,991	0,075	13,592	26,362	0,266	58,698	11,353	0,635	70,681
Arjantin	11,447	48,657	0,069	11,978	46,865	0,685	34,362	13,567	0,296	49,583
Senegal	11,519	74,798	0,047	31,606	39,022	0,585	109,985	12,064	0,452	196,459
Pakistan-2	13,277	72,594	0,017	11,809	42,785	0,450	42,724	12,744	0,172	43,782
Kenya	11,535	49,860	0,020	24,692	34,282	2,076	15,997	13,033	0,372	136,772
Gana	12,092	54,070	0,047	20,145	40,074	0,562	50,948	12,363	0,280	115,770
Sudan-3	12,871	51,520	0,096	16,289	45,700	0,006	2,685	11,778	0,045	101,742
Burkina-2	11,678	207,240	0,051	14,527	33,459	0,002	58,698	5,787	0,235	211,238
Togo	13,997	135,718	0,021	23,434	39,330	0,008	109,985	9,020	0,418	201,413
Venezuela	13,094	181,653	0,015	15,008	52,214	0,008	15,997	5,891	0,712	48,595
Nijerya	13,838	428,443	0,019	24,438	33,701	0,402	11,630	12,304	0,357	57,262
Nijerya-2	14,834	157,718	0,011	20,665	35,713	0,266	58,698	11,353	0,635	70,681
Paraguay	12,029	84,358	0,010	10,031	39,715	0,685	34,362	13,567	0,296	49,583
Kenya-2	11,264	60,720	0,015	32,687	34,477	0,585	109,985	12,064	0,452	196,459
Mozambik	15,432	76,294	0,014	16,838	45,906	0,450	42,724	12,744	0,172	43,782
Bolivya	11,839	56,821	0,017	9,950	42,841	2,076	15,997	13,033	0,372	136,772
Hindistan	13,491	90,788	0,025	13,984	36,236	0,562	50,948	12,363	0,280	115,770

Tablo 4.3: Susam tohumlarının makro mineral ve ağır metal içeriği (mg/kg).

Susam menşei	Na	Mg	P	K	Ca	As	Pb	Cd	Hg	Sb
Antalya	2,443	4601,327	7601,267	7459,168	13049,577	0,025	0,018	0,072	0,044	0,012
Manavgat	2,192	3504,645	5825,583	4809,661	7997,328	0,083	0,112	0,041	0,057	0,007
Balıkesir	8,491	4122,344	6651,273	4986,861	9471,930	0,105	0,018	0,016	0,064	0,041
Balıkesir-2	3,312	3908,101	5914,813	4857,420	8324,914	0,279	0,024	0,008	0,049	0,003
Muğla	1,484	3866,215	7343,443	5090,970	7427,142	0,460	0,049	0,004	0,059	0,007
Konya	0,430	4329,841	6572,281	7834,707	11628,731	0,036	0,015	0,038	0,077	0,013
Brezilya	0,355	1823,539	2968,477	2571,519	4551,237	0,013	0,008	0,005	0,053	0,018
Sudan	12,778	2035,618	3629,320	2683,785	5829,365	0,007	0,010	0,005	0,063	0,045
Burkina Faso	217,580	1796,734	2815,115	2743,124	6023,929	0,056	0,217	0,002	0,080	0,018
Pakistan	13,768	1831,031	3235,428	3190,567	6455,262	0,093	0,016	0,032	0,031	0,015
Sudan-2	3,761	2513,246	5250,354	3116,977	8170,639	0,005	0,061	0,001	0,021	0,232
Brezilya-2	2,819	1934,396	3650,961	2472,112	4543,432	0,016	0,091	0,004	0,028	0,293
Arjantin	4,583	2288,918	5285,869	3292,770	6834,719	0,069	0,079	0,006	0,048	0,379
Senegal	6,269	2322,108	4155,327	2900,582	6037,974	0,009	0,137	0,025	0,492	0,292
Pakistan-2	15,937	2338,004	4873,994	3685,834	7682,567	0,051	0,108	0,015	1,117	0,438
Kenya	30,722	2344,436	4969,732	3504,362	8276,301	0,009	0,077	0,053	0,010	0,363
Gana	4,741	2134,502	3740,243	3079,281	7173,256	0,006	0,097	0,007	0,202	0,343
Sudan-3	12,465	2099,624	4391,628	3145,357	6833,435	0,007	0,073	0,004	0,614	0,231
Burkina Faso-2	12,944	2219,869	3820,238	3263,783	7455,710	0,010	0,111	0,003	0,028	0,281
Togo	18,389	2077,545	3060,075	3529,337	8504,798	0,025	0,085	0,005	0,007	0,020
Venezuela	14,871	2629,894	4281,123	3387,465	8645,008	0,050	0,146	1,106	0,002	0,006
Nijerya	0,732	2844,394	4277,233	3482,489	9303,101	0,046	0,163	0,009	0,002	0,212
Nijerya-2	3,719	2098,686	3198,270	2970,581	6039,487	0,054	0,168	0,019	0,001	0,343
Paraguay	3,001	2609,933	4736,878	3869,294	6676,703	0,078	0,033	0,259	0,000	0,386
Kenya-2	16,815	3018,440	4822,557	4098,677	8847,516	0,033	0,043	0,514	0,001	0,298
Mozambik	2,546	3165,122	5361,006	4213,929	10032,583	0,019	0,046	0,032	0,000	0,228
Bolivya	6,077	2938,482	5179,243	4164,409	6557,179	0,046	0,049	0,169	0,000	0,268
Hindistan	54,822	2611,980	3755,926	3642,351	7988,778	0,045	0,058	0,058	0,002	0,039

Tablo 4.4: Susam tohumlarının THQ ve HI değerleri.

Susam menşei	Cu X 10 ⁻³		Fe X 10 ⁻³		Zn X 10 ⁻³		HI	
	Erkek	Kadın	Erkek	Kadın	Erkek	Kadın	Erkek	Kadın
Antalya	1,83	1,68	0,61	0,56	0,70	0,65	3,14	2,89
Manavgat	1,72	1,58	1,21	1,11	0,67	0,61	3,59	3,31
Balıkesir	0,30	0,28	0,94	0,86	0,16	0,14	1,39	1,28
Balıkesir-2	2,04	1,88	0,49	0,45	0,37	0,34	2,90	2,67
Muğla	1,54	1,42	0,34	0,31	0,60	0,55	2,47	2,28
Konya	1,88	1,73	0,70	0,64	0,60	0,55	3,18	2,93
Brezilya	1,13	1,04	0,26	0,24	0,26	0,24	1,66	1,53
Sudan	0,96	0,89	0,42	0,39	0,34	0,32	1,73	1,59
Burkine	0,86	0,79	2,08	1,92	0,26	0,24	3,20	2,95
Pakistan	0,98	0,91	0,39	0,36	0,33	0,30	1,71	1,57
Sudan-2	0,28	0,25	0,05	0,05	0,12	0,11	0,45	0,42
Brezilya-2	0,27	0,25	0,09	0,08	0,09	0,08	0,45	0,41
Arjantin	0,30	0,28	0,07	0,07	0,16	0,15	0,53	0,49
Senegal	0,30	0,28	0,11	0,10	0,14	0,13	0,55	0,51
Pakistan-2	0,35	0,32	0,11	0,10	0,15	0,14	0,60	0,56
Kenya	0,30	0,28	0,07	0,07	0,12	0,11	0,50	0,46
Gana	0,32	0,29	0,08	0,07	0,14	0,13	0,54	0,49
Sudan-3	0,34	0,31	0,08	0,07	0,16	0,15	0,57	0,53
Burkine-2	0,31	0,28	0,31	0,29	0,12	0,11	0,73	0,67
Togo	0,37	0,34	0,20	0,19	0,14	0,13	0,71	0,65
Venezuela	0,34	0,32	0,27	0,25	0,18	0,17	0,79	0,73
Nijerya	0,36	0,33	0,64	0,59	0,12	0,11	1,12	1,03
Nijerya-2	0,39	0,36	0,24	0,22	0,12	0,11	0,75	0,69
Paraguay	0,31	0,29	0,13	0,12	0,14	0,13	0,58	0,53
Kenya-2	0,29	0,27	0,09	0,08	0,12	0,11	0,50	0,47
Mozambik	0,40	0,37	0,11	0,10	0,16	0,15	0,68	0,62
Bolivya	0,31	0,29	0,08	0,08	0,15	0,14	0,54	0,50
Hindistan	0,35	0,32	0,14	0,12	0,13	0,12	0,61	0,57

4.3 Tahin Numunelerinin Kimyasal Özellikleri

Tez çalışmasına konu olan tahin numunelerinin kimyasal analizleri sonucunda veriler Tablo 4.5'te sunulmaktadır. Tablo 4.5'te sunulan veriler incelendiğinde tahin numunelerindeki nem %0,2-0,8; protein %20,5-26,5; karbonhidrat %13,6-29,4; yağ %44,8-62,3 ve kül ise %0,1-1,1 aralığında değişmektedir. Analiz edilen tahin numunelerinde tüm kimyasal analizler arasında istatistiki olarak önemli fark bulunmamaktadır (Ek B: Tablo B.4).

Türk Gıda Kodeksi Tahin Tebliğinde (Tebliğ No:2015/27) tahin için verilen değerler dikkate alındığında nem miktarı en çok %1,5, protein miktarı en az %20, kül miktarının ise en çok %3,2 olması gerektiği bildirilmiştir. Bu çalışmada analiz edilen tahin numunelerinin nem, protein ve kül miktarı sonuçları, tahin için bildirilen değerler açısından uygun bulunmuştur.

Akbulut ve Çoklar (2008), yapmış oldukları çalışmada kabuklu susamdan üretilen tahinde nem %1,86, protein %23,77, yağ %55,42, lif %3,11 ve kül %2,78 değerlerini ölçmüşlerdir.

Kabuksuz susamdan üretilen Bozkır tahininde ise nem %1,14; protein %21,76; yağ %52,90; lif %6,13 ve kül %4,12 olarak tespit edilmiştir. Bu tez çalışmasında kabuklu susamdan üretilen Hümera tahininde nem ve yağ içeriğinin oldukça düşük olduğu, protein içeriğinin ise benzerlik gösterdiği görülmektedir. Bu çalışmada da kabuklu susamdan üretilen tahinin kül miktarının kabuksuz susamdan üretilen tahine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Labban ve Sumainah (2021) tahin numunesinin besinsel içeriğini nem %3,05, protein %17, karbonhidrat %21,19 ve yağ %53,76 olarak rapor etmişlerdir. Bu sonuçlarla karşılaştırıldığında tahin numunelerinin nem miktarının daha düşük, protein miktarının daha yüksek karbonhidrat ve yağ miktarının uyumlu olduğu görülmektedir.

El-Adawy ve ark. (2000), farklı kavurma tekniklerinin tahin üretimindeki etkisini inceledikleri çalışmada kavurma işlemini buharda, vakumla, sıcak tabakada ve sıcak havada gerçekleştirmişlerdir. Yapılan ölçümlerde nem içeriğinin %1,45-1,98; yağ içeriğinin %58,59-59,37, protein içeriğinin %21,90-22,59 ve kül içeriğinin % 2,62-2,88 değiştiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen veriler ile karşılaştırıldığında nem, protein ve yağ değerinin oldukça düşük, kül değerinin ise benzerlik gösterdiği görülmektedir.

Tablo 4.5: Tahin numunelerinin kimyasal içeriği (%).

Tahin menşei	Nem	Protein	Karbonhidrat	Yağ	Kül
Antalya	0,8	22,7	19,1	55,2	2,2
Manisa	0,6	21,1	17,6	58,3	2,4
Muğla	0,5	20,9	13,6	62,3	2,7
Balıkesir	0,2	21,2	18,2	58,1	2,3
Balıkesir-2	0,3	23,2	21,7	52,2	2,6
Mersin	0,4	23,9	22,3	50,6	2,8
Adana	0,8	26,5	25,7	44,8	2,2
Konya	0,5	22,1	19,3	56,2	1,9
Konya-2	0,7	23,1	15,3	50,9	1,7
Konya-3	0,7	20,7	19,3	55,1	1,9
Hindistan	0,8	20,5	22,1	53,7	2,1
Kenya	0,6	21,3	22,5	58,9	2,0
Pakistan	0,6	22,0	23,7	60,1	1,8
Sudan	0,5	20,6	24,1	61,2	1,9
Togo	0,7	23,7	25,8	60,3	2,3
Senegal	0,4	22,9	24,6	57,6	2,2
Brezilya	0,3	22,5	23,8	55,8	2,1
Mozambik	0,5	24,6	25,9	56,9	2,4
Etiyopya	0,3	23,0	19,2	55,4	2,1
Humera	0,2	22,5	29,4	44,9	3,0
Nijerya	0,8	21,7	20,7	49,8	2,7

4.4 Tahin Numunelerinin Mineral Analiz Sonuçları

Tez çalışmasına konu olan tahin numunelerinin mineral analizleri sonucu elde edilen veriler Tablo 4.6 ve 4.7’de sunulmaktadır. Tablo 4.6 ve 4.7’de sunulan veriler incelendiğinde susam numunelerindeki mineral içeriği mg/kg açısından Cu: 5,822-22,850, Fe: 27,731-158,770, Sn: 0,001-0,103, Mn: 7,600-46,091, Zn: 27,362-88,027, Se: 0,001-1,869, Al: 3,261-145,124, B: 5,322-26,443, Cr: 0,005-1,220, Ni: 0,420-32,589, Na: 795,919-3511,619, Mg: 846,187-5407,892, P: 1538,870-8466,581, K: (86,224-6164,726, Ca: 732,854-10337,016, As: 0,003-0,176, Pb: 0-0,242, Cd: 0,003-1,269, Hg: (tüm numunelerde tespit edilemedi) ve Sb: 0,001-0,369 aralığında değişmektedir. Yerli ve ithal numune sonuçları incelendiğinde mineral ortalama değerleri mg/kg cinsinden sırasıyla Cu: 15,492-13,766, Fe: 73,036-62,064, Sn: 0,038-0,025, Mn: 20,418-14,805, Zn: 58,056-54,246, Se: 0,663-0,463, Al: 30,098-20,181, B: 14,933-11,023, Cr: 0,370-0,173, Ni: 13,626-5,936, Na: 1430,047-1935,575, Mg: 3015,323-3915,645, P: 5512,089-5093,317, K: 2957,450-4206,034, Ca: 2615,485-1756,136, As: 0,056-0,028, Pb: 0,086-0,052, Cd: 0,239-0,203 ve Sb: 0,200-0,029 aralığındadır.

Analiz edilen yerli ve ithal tahin numunelerinde mikro minerallerden Mn, B, Cr ve Ni; makro minerallerden Na arasında istatistiki olarak önemli fark ($p<0,05$) bulunmaktadır. (Ek B: Tablo B.5 ve B.6).

Türk Gıda Kodeksi Tahin Tebliğinde (Tebliğ No:2015/27) tahin için verilen değerler dikkate alındığında As miktarı en çok 0,2 mg/kg, Pb miktarı en çok 0,3 mg/kg, Cu 18 mg/kg, ve Fe miktarının ise en çok 75 mg/kg olması gerektiği bildirilmiştir. Bu değerler dikkate alındığında araştırmada analiz edilen tahin numunelerinin As ve Pb miktarı analizlerinde elde edilen sonuçların tüm numunelerde uygun olduğu tespit edilmiştir. Cu miktarı analizinde dört numunenin (Antalya, Manisa, Muğla ve Balıkesir-2) değerlendirme limitinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Fe miktarı analizinde yedi numunenin (Antalya, Manisa, Balıkesir-2, Mersin, Konya-3, Humera ve Nijerya) değerlendirme limitinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

İnsan sağlığı için günlük tüketimde karşılanmış olması gereken mineraller açısından değerler Ca: 1300 mg, Cr: 0,035 mg, Cu: 0,9 mg, Fe: 18 mg, Mg: 420 mg, Mn: 2,3 mg, P: 1250 mg, K: 4700 mg, Se: 0,055 mg, Na: 2300 mg ve Zn: 11 mg’dir (FDA, 2023). Tahin numunelerinin 100 gramının mineral açısından günlük ihtiyacı karşılama değerleri Ca:

216,535 mg, Cr: 0,027 mg, Cu: 1,459 mg, Fe: 6,729 mg, Mg: 348,692 mg, Mn: 1,748 mg, P: 529,273 mg, K: 361,147 mg, Se: 0,056 mg, Na: 169,485 mg ve Zn: 5,606 mg'dir. Bu sonuçlara göre 100 gram tahinde günlük değeri karşılama oranları: Ca: %16,66, Cr: %77,14, Cu: %162,11, Fe: %37,38, Mg: %83,02, Mn: %76, P: %42,34, K: %7,68, Se: %101,82, Na: %7,37 ve Zn: %50,96'dır.

Özcan ve ark. (2023), susam tohumu işlenmesinde yer alan proses aşamalarının tahin içeriği üzerine etkisinin incelendiği çalışmasında tahin numunesinin mineral içeriğini mg/kg cinsinden B, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni ve Zn olarak sırasıyla 29,28, 59,40, 270,28, 57,03, 3,36 ve 168,53 olarak bildirmiştir. Bu çalışmada B, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni ve Zn değerleri açısından istatistiki olarak anlamlı bir farklılık ($p<0,05$) olduğunu bildirmişlerdir. Aynı zamanda Ca, K, Mg, Na ve P, içeriğini sırasıyla 8760,74, 14690,24, 1865,81, 3945,83, 22411,02 mg/kg olarak ölçmüşler ve tahin numunelerinin Ca, K, Mg, Na ve P değerlerinde istatistiki olarak anlamlı bir farklılık ($p<0,05$) olduğunu bildirmişlerdir. Bu tez çalışmasında da Na minerali dışında Ca, K, Mg, Na ve P değerlerinde istatistiki olarak anlamlı bir farklılık ($p<0,05$) olduğu görülmüştür.

Labban ve Sumainah (2021), tahinin insan sağlığına etkisini inceledikleri çalışmada tahinin mineral içeriğini mg/kg cinsinden Fe, Cu ve Se olarak sırasıyla 44,2, 16,1 ve 0,344 olarak bildirmiştir. Ca, Mg, P ve Na içeriğini ise sırasıyla 1410, 950, 7900 ve 350 mg/kg olarak bildirmiştir. Bu tez çalışmasında Fe, Se, Ca, Mg ve Na minerali daha yüksek Cu ve P minerali daha düşük bulunmuştur.

El-Adawy ve ark. (2000), yapmış oldukları çalışmada; tahin üretiminde kavurma işlemini buharda, vakumla, sıcak tabakada ve sıcak havada gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmada tahin numunelerinin mg/kg cinsinden mineral içerikleri Cu 20-21, Zn 80-83, Fe 85-89 ve Mn 15-17 değerleri arasında değişmektedir. Ayrıca Na 1240-1300, Ca 620-660, Mg 3020-3110 ve K 2880-2930 mg/kg aralığında olduğu bildirilmiştir. Bu tez çalışmasında Mn, Na, Ca, Mg ve K minerali daha yüksek Cu, Zn ve Fe minerali daha düşük bulunmuştur.

Tablo 4.6: Tahin numunelerinin mikro mineral içeriği (mg/kg).

Tahin menşei	Cu	Fe	Sn	Mn	Zn	Se	Al	B	Cr	Ni
Antalya	20,834	144,210	0,001	24,134	73,856	0,371	98,853	17,841	0,239	12,779
Manisa	20,683	76,409	0,104	22,862	88,027	0,316	4,890	17,052	0,066	18,946
Muğla	20,136	60,454	0,067	22,120	59,360	0,424	40,506	15,560	0,217	21,359
Balıkesir	5,822	27,731	0,055	9,932	27,362	0,052	5,963	5,323	0,119	32,589
Balıkesir-2	22,850	80,999	0,007	16,712	68,092	1,869	37,893	26,443	0,351	13,579
Mersin	12,604	80,887	0,035	18,888	36,876	0,813	9,232	13,910	0,150	11,779
Adana	8,754	54,691	0,032	7,600	54,691	0,001	43,293	10,288	0,408	12,188
Konya	14,312	53,222	0,057	17,316	54,510	0,606	6,575	12,505	0,562	10,279
Konya-2	13,523	66,928	0,004	18,521	52,251	1,072	33,927	18,172	1,220	1,671
Konya-3	15,398	84,827	0,015	46,091	65,535	1,104	19,844	12,233	0,371	1,090
Hindistan	12,217	45,887	0,055	9,579	37,413	0,769	10,021	13,478	0,230	0,851
Kenya	11,830	44,998	0,079	18,013	36,356	1,496	8,333	13,391	0,197	1,582
Pakistan	16,848	54,289	0,003	12,355	70,852	0,210	3,991	10,575	0,165	0,420
Sudan	15,518	53,916	0,016	15,792	71,553	0,379	6,920	11,197	0,039	0,554
Togo	12,623	43,504	0,026	14,390	54,696	0,365	3,509	7,952	0,005	0,631
Senegal	13,154	49,855	0,012	16,482	56,772	0,533	5,221	8,398	0,037	1,124
Brezilya	12,972	46,998	0,002	13,137	53,457	0,171	11,864	11,757	0,030	0,607
Mozambik	16,230	67,760	0,002	16,080	63,715	0,404	12,475	11,128	0,072	0,612
Etiyopya	10,115	36,476	0,073	10,683	34,445	0,092	3,261	8,210	0,046	30,478
Humera	15,139	158,770	0,001	20,570	56,181	0,485	145,124	15,757	0,721	18,166
Nijerya	14,777	80,249	0,007	15,776	61,271	0,191	11,276	9,413	0,359	10,272

Tablo 4.7: Tahin numunelerinin makro mineral ve ağır metal içeriği (mg/kg) (TE: tespit edilemedi).

Tahin menşei	Na	Mg	P	K	Ca	As	Pb	Cd	Hg	Sb
Antalya	1156,452	4650,554	8397,930	4948,760	5990,077	0,099	0,095	0,013	TE	0,172
Manisa	3511,619	4647,807	7803,885	3210,047	1421,612	0,046	0,112	0,013	TE	0,320
Muğla	1300,396	3601,502	6056,495	3472,693	2468,269	0,031	0,031	0,013	TE	0,209
Balıkesir	795,919	846,187	1538,870	786,224	876,493	0,126	0,042	0,019	TE	0,253
Balıkesir-2	2301,468	5089,942	8466,581	6164,726	10337,016	0,176	0,022	0,028	TE	0,011
Mersin	804,081	2173,402	4473,753	1867,392	801,937	0,010	0,077	0,003	TE	0,265
Adana	803,411	1572,532	3660,650	1644,775	1176,574	0,016	0,242	0,003	TE	0,345
Konya	1156,543	2843,902	6050,106	2514,431	880,543	0,010	0,111	0,003	TE	0,369
Konya-2	1532,648	2680,359	4988,653	2873,808	1168,045	0,019	0,081	1,269	TE	0,024
Konya-3	937,931	2047,041	3683,967	2091,648	1034,280	0,023	0,048	1,022	TE	0,036
Hindistan	1671,870	2264,483	4059,274	2182,269	1541,344	0,031	0,040	0,978	TE	0,024
Kenya	1343,119	2316,784	3951,031	2514,392	762,404	0,021	0,073	0,883	TE	0,032
Pakistan	1550,807	5373,720	5475,152	6018,807	1190,261	0,084	0,043	0,024	TE	0,011
Sudan	2198,371	5155,963	5921,625	5993,628	1155,278	0,009	0,158	0,004	TE	0,002
Togo	1593,065	4279,139	4542,992	5398,799	1127,453	0,018	0,008	0,008	TE	0,002
Senegal	1625,439	4471,109	4886,041	5018,506	1656,539	0,011	0,001	0,097	TE	0,002
Brezilya	2821,891	5355,654	5673,243	5382,442	1648,604	0,007	0,000	0,050	TE	0,001
Mozambik	2381,749	5407,892	5942,110	5684,095	1707,997	0,045	0,050	0,165	TE	0,001
Etiyopya	1250,920	2131,718	3549,069	1946,420	732,854	0,024	0,044	0,006	TE	0,191
Humera	2696,835	3573,746	6447,037	3099,651	6216,873	0,059	0,100	0,018	TE	0,019
Nijerya	2157,254	2741,891	5578,914	3027,365	1577,890	0,003	0,058	0,005	TE	0,037

4.5 Ultrases Yöntemi ile Susam Kabuğunun Soyulması

Yerli ve ithal numuneler mineral içeriği açısından incelenmiş ve yerli numune temsili olarak ortalama değerlere yakın olan Muğla susamı ve ithal numune temsili olarak ortalama değerlere yakın olan Togo susamı seçilmiştir. Araştırmada analiz edilen susam numunelerinin uzaklaşan kabuk oranı analizleri sonucu elde edilen veriler Tablo 4.8’de sunulmaktadır. Tablo 4.8’de sunulan veriler incelendiğinde geleneksel kabuk soyma işlemi uygulanan numunelerde uzaklaşan kabuk oranı yerel susam numunesi için %9,50 ve ithal susam numunesi için %9,30’dur. Ultrases yöntemi uygulanmış numunelerde uzaklaşan kabuk miktarı yerel susam numunesinde %9,85-16,70 aralığında ve ithal susam numunesinde %9,45-17,05 aralığında değişmektedir. Analiz edilen yerli ve ithal susam tohumlarında uzaklaşan kabuk miktarı arasında istatistiksel olarak önemli fark bulunmamaktadır (Ek B: Tablo B.7 ve B.8).

Tanrıverdi (2017), yaptığı çalışmada susam tohumunda uzaklaşan kabuk oranını sırasıyla geleneksel yöntemde %9,60 olarak bulmuştur. Bu çalışmadaki (2017) geleneksel yöntem ile uzaklaşan kabuk oranı analizi sonuçlarının Tanrıverdi (2017)’nin çalışmasında bildirilen ile benzerlik gösterdiği (%9,50-9,30) tespit edilmiştir. Ultrases yöntemi için %100 genlik ve 15 dakika süre uygulamasında uzaklaşan kabuk miktarı (%16,70-17,05) Tanrıverdi (2017) tarafından kullanılan diğer yöntemlere benzerlik gösterdiği görülmektedir.

Tablo 4.8: Geleneksel ve ultrases yöntemi ile işlenmiş susamda uzaklaşan kabuk oranı (%).

Yöntem	Parametre (% genlik-dk)	Muğla Susamı (Yerel Susam)	Togo Susamı (İthal Susam)
Geleneksel Yöntem		9,50	9,30
	%50-5 dk	9,85	9,45
	%50-10 dk	10,95	10,50
Ultrases Yöntemi	%50-15 dk	12,45	11,65
	%100-5 dk	13,30	12,85
	%100-10 dk	14,45	15,90
	%100-15 dk	16,70	17,05

4.6 Ultrases Yöntemi ile İşlenmiş Susamın Mineral İçeriği

Araştırmada analiz edilen susam numunelerinin mineral analizleri sonucu elde edilen veriler Tablo 4.9 ve 4.10’da sunulmaktadır.

Analiz edilen yerli susam tohumunda mineral içeriği açısından Na ve Sb için geleneksel yöntem ile ultrases yöntem (%50 genlik) arasında istatistiksel olarak önemli fark ($p<0,05$) bulunmaktadır (Ek B: Tablo B.9-B.12).

Analiz edilen ithal susam tohumunda mineral içeriği açısından Na için geleneksel yöntem ile ultrases yöntem (%50 genlik) arasında istatistiksel olarak önemli fark ($p<0,05$) bulunmaktadır (Ek B: Tablo B.9-B.12).

Analiz edilen yerli susam tohumunda mineral içeriği açısından Sn, Mn, Se, B, Ni, Na, Ca, As, Pb, Cd ve Sb mineralleri için ultrases yöntem %50 genlik ile %100 genlik arasında istatistiksel olarak önemli fark ($p<0,05$) bulunmaktadır (Ek B: Tablo B.9-B.12).

Analiz edilen ithal susam tohumunda mineral içeriği açısından Sn, B, P, Ca, Pb ve Cd mineralleri için ultrases yöntem %50 genlik ile %100 genlik arasında istatistiksel olarak önemli fark ($p<0,05$) bulunmaktadır (Ek B: Tablo B.9-B.12).

Tanrıverdi (2017), yaptığı çalışmada susam tohumunda mikro minerallerden Mn, Fe, Ni, Cu ve Zn minerallerini mg/kg cinsinden geleneksel yöntemle yapılan kabuk soyma işleminde: 20,00-106,26-0,95-22,38-70,54 aralığında; ön işlem uygulanmamış susam tohumunda 23,28-117,803-1,52-25,86-97,00 aralığında; kaynar suya daldırılmış susam tohumunda 20,55-109,56-1,43-20,55-85,61 aralığında; buharla muamele edilmiş susam tohumunda 20,48-109,19-1,47-23,37-79,36 aralığında ve son olarak -18 °C'de tutulmuş susam tohumunda ise 20,42-113,57-1,82-23,11-79,53 aralığında bulmuştur. Tanrıverdi (2017)'nin çalışmasında Mn ve Fe için ön işlem uygulanmamış susam tohumunda daha yüksek değer çıkarken diğer yöntemlerde benzer sonuçlar elde etmiştir. Bu tez çalışmasında susam tohumunda Mn miktarının ultrases yöntemde güç ve süre parametreleri ile ters orantılı olarak azalma yöneliminde olduğu tespit edilmiştir. Tanrıverdi (2017)'nin Ni minerali için geleneksel yöntemle göre diğer uygulamalarda artış yönelimi olurken bu tez çalışmasında Ni içeriğinin ultrases yönteminin güç ve süre parametreleri ile ters orantılı olarak azalma yöneliminde olduğu görülmüştür. Tanrıverdi (2017)'nin çalışmasında ön işlemsiz, buharla muamele ederek ve -18 °C'de tutarak kabuk soyma uygulamalarında Cu mineralinde artma kaynar suya daldırma işleminde ise azalma yöneliminde olduğu görülmüştür. Tanrıverdi (2017)'nin çalışmasında Zn değerinde tüm uygulamalarda artma yönelimi olurken, bu tez

çalışmasında da benzer şekilde ultrases yönteminin güç ve süre parametreleri ile doğru orantılı olarak Zn değerinde artma yönelimi olduğu gözlenmiştir.

Geleneksel yöntemle kabuğu soyulan susam tohumunda Mg, P, Ca, Fe, Mn, Al ve Cr içeriğinin azaldığı, Cu ve Zn'nin ise az da olsa arttığı görülmektedir. Bu çalışmada Mg, P, Ca, Fe, Mn ve Cu mineralleri için elde edilen sonuçların Tanrıverdi (2017)'nin çalışmasındaki sonuçlar ile uyum içinde olduğu, Al ve Cr içeriğinin arttığı ve Zn içeriğinin ise azaldığı görülmüştür.

Makinde ve Akinosa (2013), yapmış oldukları çalışmada beyaz ve siyah susam tohumunda geleneksel kabuk soyma yöntemi sonrasında Ca, P, K, Mg, Fe, Se, Zn, Mn içeriğinin azaldığını tespit etmiştir. Bu tez çalışmasında Ca, P, K, Mg, Fe, Zn ve Mn mineralleri için elde edilen sonuçların Makinde ve Akinosa (2013) çalışması ile uyum içinde olduğu, Se mineralinde tam tersine artış olduğu görülmüştür.

Houkonnou (2019), yapmış olduğu çalışmada lignan içeriği yüksek olan susamlara farklı genlik (%30, %65 ve %100) ve sürelerde (5 dk, 10 dk ve 20 dk) ultrases uygulayarak ekstrakt elde etmiştir. Elde edilen susam ekstraktlarının verim değerlerini %6,82 ile %14,04 arasında bulmuştur. Dolayısıyla genlik ve süre artışı ile ekstraksiyon veriminin arttığı bildirilmiştir. Bu çalışmada da ekstraksiyon verimine bağlı olarak geleneksel metotla karşılaştırıldığında uzaklaşan kabuk oranının artması ile susam tanesinin kabuk kısmındaki çeşitli mineralleri azalttığı düşünülebilir. Yüksek ses dalgalarının susam kabuğu üzerinde tahrip edici gücünün fazla olması ve uygulanan genlik ve sürenin artışına bağlı olarak tahrip gücünün artmasıyla ekstraksiyon veriminin artışı mineral içeriğini etkilediği düşünülebilir.

Bu çalışmada geleneksel yöntem ve farklı genlik ve sürelerde kullanılan ultrases yöntemi ile Muğla ve Togo susam tohumunda toplam mikro mineral, makro mineral ve ağır metal içeriği değişimi Şekil 4.1-6'da gösterilmektedir. Bu çalışmada ultrases yöntemi ile kabuk soyma işlemi uygulanan susam tohumlarında genlik ve süreye bağlı olarak mineral değişimi incelendiğinde Cu, Zn, Se, Al, Cr, Mg, P, K ve Ca minerallerinde süre ve genlik artışı ile doğru orantılı bir artış tespit edilirken Fe, Sn, Mn, B, Ni, Na, As, Pb, Cd ve Sb minerallerinde azalış tespit edilmiştir. Özcan ve ark. (2023), yaptıkları çalışmada geleneksel yöntem ile yaptıkları susamda kabuk soyma işlemi sonucunda Ca, K, Mg, P, B, Cu, Fe, Mn ve Ni minerallerinde azalış Na, Cr ve Zn minerallerinde artış tespit etmişlerdir. Bu çalışmada

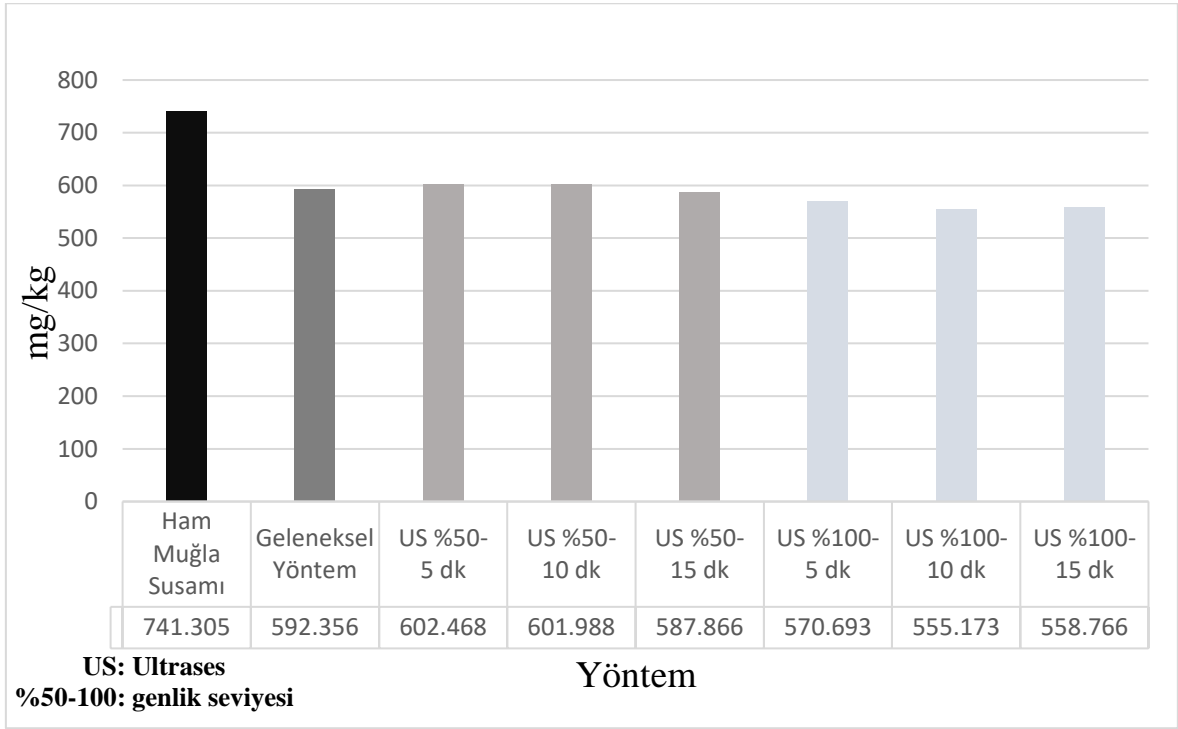
bulunan sonuçlar Ca, B, Cr, Fe, Mn, Ni ve Zn minerallerindeki değişim ile uyumlu iken K, Mg, Na, P ve Cu için uyumlu değildir.

Tablo 4.9: Geleneksel ve ultrases yöntemi ile işlenmiş susamda mikro mineral içeriği (mg/kg).

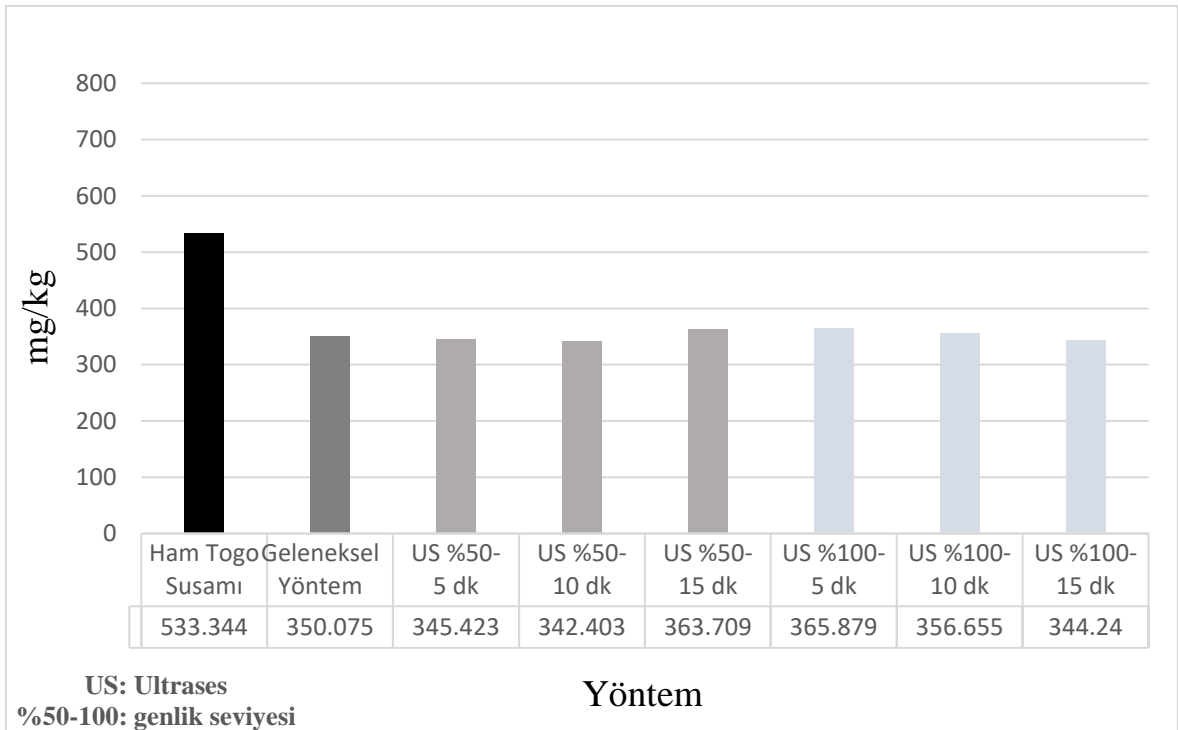
Susam menşei	Parametre (% genlik-dk)	Cu	Fe	Sn	Mn	Zn	Se	Al	B	Cr	Ni
Muğla											
Geleneksel Yöntem	-	61,774	195,567	0,040	73,888	177,165	0,612	20,172	17,132	0,112	45,894
	%50-5 dk	62,732	192,159	0,032	70,216	181,195	0,590	21,744	18,554	0,128	55,118
Ultrases Yöntem	%50-10 dk	60,752	195,342	0,022	73,149	192,575	0,555	27,143	11,060	0,158	41,232
	%50-15 dk	65,198	188,772	0,025	65,776	182,546	0,598	23,457	15,479	0,138	45,877
	%100-5 dk	61,772	170,165	0,011	55,311	215,480	0,775	25,142	9,772	0,153	32,112
	%100-10 dk	63,160	165,179	0,012	51,162	227,589	0,815	24,131	7,137	0,189	15,799
	%100-15 dk	65,414	162,100	0,003	49,881	231,455	0,838	22,366	5,112	0,215	21,382
Togo											
Geleneksel Yöntem	-	14,998	105,772	0,020	21,181	42,780	2,059	141,580	16,535	2,938	2,212
	%50-5 dk	15,771	101,232	0,021	20,172	41,232	2,110	140,316	19,885	2,779	1,905
Ultrases Yöntem	%50-10 dk	17,414	105,547	0,019	21,250	40,290	2,198	137,954	13,456	2,816	1,459
	%50-15 dk	17,210	111,197	0,018	20,599	42,159	2,356	152,118	13,800	2,805	1,447
	%100-5 dk	19,168	108,777	0,010	18,172	45,559	2,568	155,652	11,089	3,552	1,332
	%100-10 dk	19,775	105,492	0,011	15,112	47,854	2,894	151,741	8,948	3,628	1,200
	%100-15 dk	22,118	94,776	0,010	14,580	49,176	2,995	150,180	6,188	3,212	1,005

Tablo 4.10: Geleneksel ve ultrases yöntemi ile işlenmiş susam numunelerinin makro mineral ve ağır metal içeriği (mg/kg) (TE: Tespit edilememiştir).

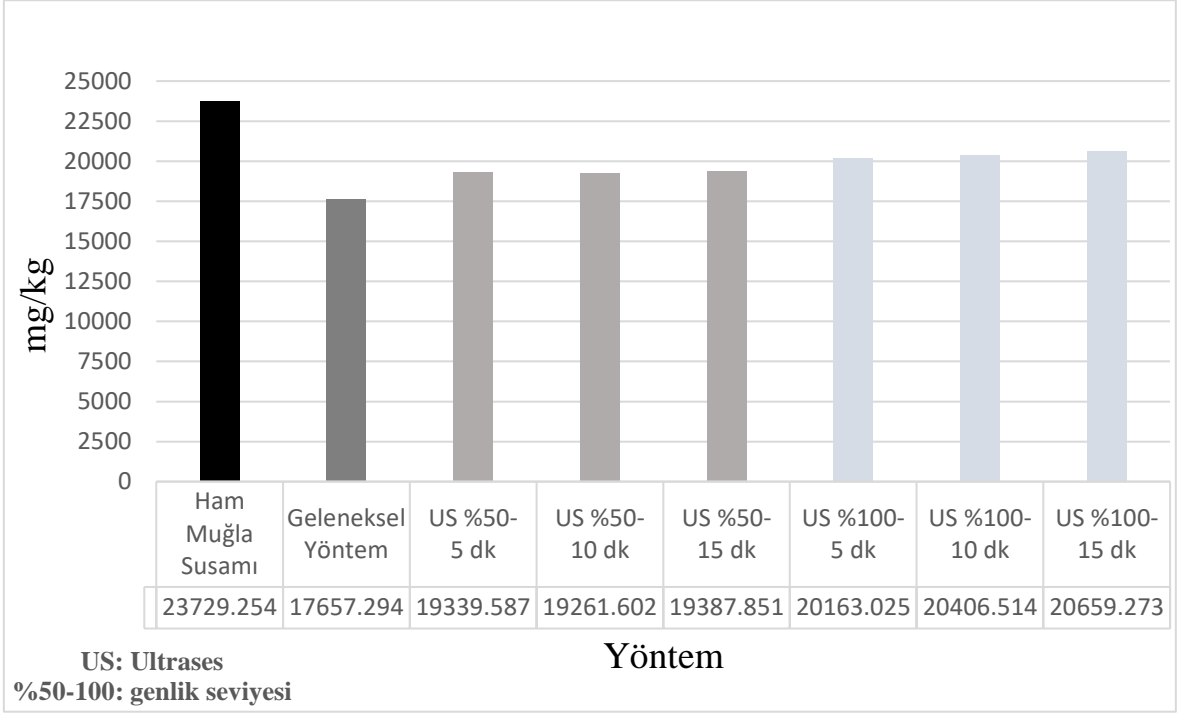
Susam menşei	Parametre (% genlik-dk)	Na	Mg	P	K	Ca	As	Pb	Cd	Hg	Sb
Muğla											
Geleneksel Yöntem	-	3,897	3779,187	7119,856	4877,167	1877,187	0,421	0,040	0,010	TE	0,009
	%50-5 dk	1,786	4026,185	7465,123	5156,842	2689,651	0,400	0,033	0,007	TE	0,005
	%50-10 dk	1,459	4104,957	7456,284	5100,148	2598,754	0,372	0,040	0,003	TE	0,007
Ultrases Yöntem Muğla	%50-15 dk	1,550	4200,776	7356,854	5223,496	2605,175	0,352	0,028	0,006	TE	0,004
	%100-5 dk	1,958	4315,994	8501,329	6022,568	1321,176	0,177	0,012	0,001	TE	0,002
	%100-10 dk	2,313	4411,249	8801,276	6135,478	1056,198	0,135	0,008	0,001	TE	0,001
	%100-15 dk	2,551	4422,158	8900,215	6304,174	1030,175	0,111	0,008	0,001	TE	0,001
Togo											
Geleneksel Yöntem	-	33,562	1865,397	2876,196	3412,567	2301,419	0,016	0,091	0,004	TE	0,009
	%50-5 dk	19,772	2110,124	3091,544	3622,115	3324,684	0,013	0,081	0,004	TE	0,008
	%50-10 dk	20,015	2111,190	3105,658	3555,417	3215,944	0,010	0,091	0,005	TE	0,056
Ultrases Yöntem Togo	%50-15 dk	19,776	2196,486	3102,436	3538,987	3158,814	0,011	0,046	0,007	TE	0,006
	%100-5 dk	21,523	2405,287	4425,843	3856,717	2205,174	0,010	0,054	0,002	TE	0,048
	%100-10 dk	23,558	2456,380	4652,149	3901,235	2104,937	0,005	0,013	0,003	TE	0,003
	%100-15 dk	24,022	2658,180	5778,214	4011,149	1987,457	0,008	0,011	0,001	TE	0,003



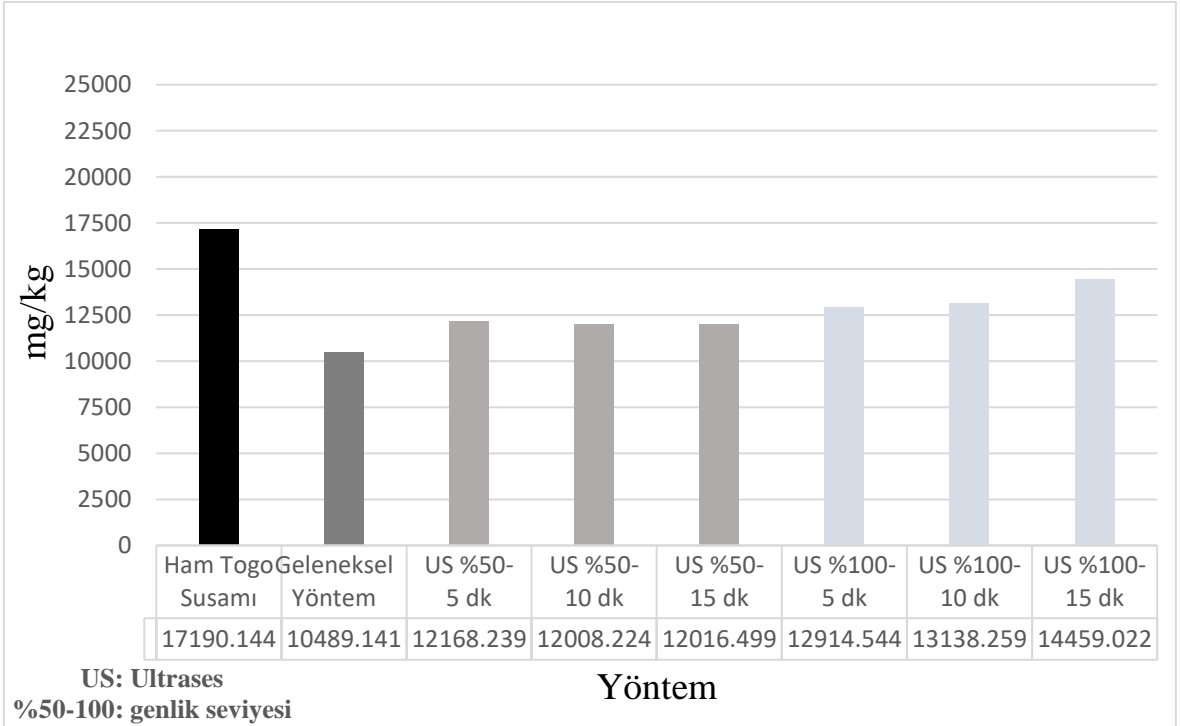
Şekil 4.1: Muğla susam tohumuna uygulanan geleneksel ve ultrases yöntem ile kabuk soyma işlemlerinin mikro mineral içeriğine etkisi.



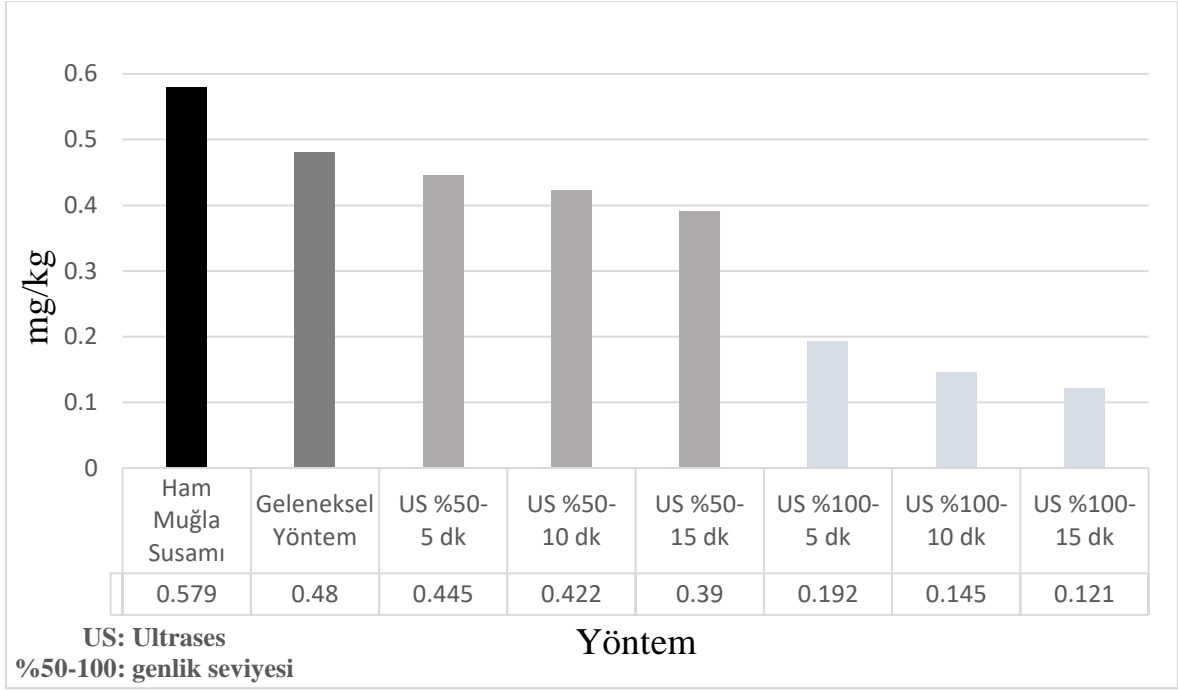
Şekil 4.2: Togo susam tohumuna uygulanan geleneksel ve ultrases yöntem ile kabuk soyma işlemlerinin mikro mineral içeriğine etkisi.



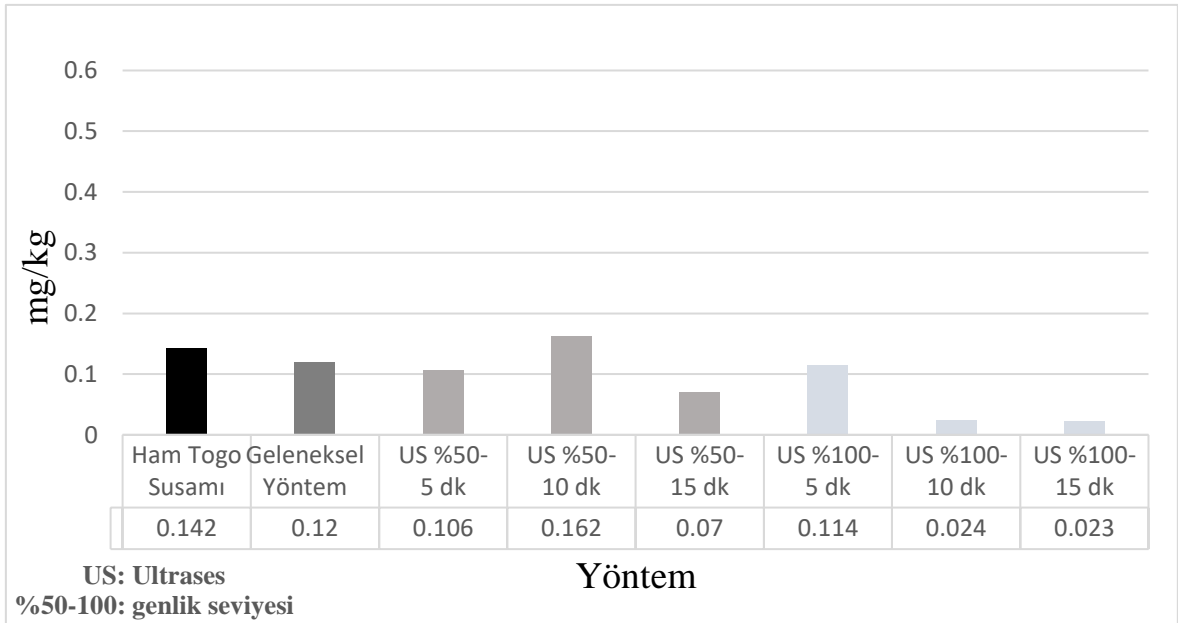
Şekil 4.3: Muğla susam tohumuna uygulanan geleneksel ve ultrases yöntem ile kabuk soyma işlemlerinin makro mineral içeriğine etkisi.



Şekil 4.4: Togo susam tohumuna uygulanan geleneksel ve ultrases yöntem ile kabuk soyma işlemlerinin makro mineral içeriğine etkisi.



Şekil 4.5: Muğla susam tohumuna uygulanan geleneksel ve ultrases yöntem ile kabuk soyma işlemlerinin ağır metal içeriğine etkisi.



Şekil 4.6: Togo susam tohumuna uygulanan geleneksel ve ultrases yöntem ile kabuk soyma işlemlerinin ağır metal içeriğine etkisi.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yerli ve ithal susam (28 adet) ve tahin numunelerinde (21 adet) fiziksel, kimyasal ve ICP-MS yöntemi ile mineral analizleri yapılmıştır. Susam ve tahin numunelerinin fiziksel-kimyasal özellikleri ve mineral analizleri sonuçları literatür verileriyle karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir. Çalışmada elde edilen veriler susam tohumunun menşesine, rengine ve çeşidi gibi değişkenlere bağlı olarak farklılıklar olduğunu göstermiştir.

Susam tohumlarının fiziksel analiz sonuçları Türk Gıda Kodeksi Baharat Tebliğine (Tebliğ No:2022/7) göre değerlendirildiğinde tüm numunelerde toplam yabancı madde, nem miktarı ve bozuk tane analizlerinde elde edilen veriler uygundur. Toplam kül miktarı analizinde üç yerli susam numunesinin ve %10'luk HCl'de çözünmeyen kül miktarı analizinde ise ikisi yerli biri ithal olmak üzere üç susam numunesinin değerlendirme limitinin üzerinde olduğu belirlenmiştir.

Analiz edilen susam tohumlarında mineral içerikleri yerli ve ithal susam bazında çeşitlilik göstermekle birlikte Ca, K, P ve Mg miktar olarak en çok bulunan minerallerdir. Ağır metallerin susam numunelerindeki ortalama değerleri sırasıyla As: 0,062, Pb: 0,075, Cd: 0,090, Hg: 0,113 ve Sb: 0,172 mg/kg olarak belirlenmiştir.

İthal ve yerli susamdan üretilen tahin numunelerinde mineral içerikleri oldukça değişkenlik göstermektedir. Türk Gıda Kodeksi Tahin Tebliğinde (Tebliğ No:2015/27) tahin için verilen değerler dikkate alındığında As ve Pb sonuçlarının tüm numunelerde uygun olduğu, Cu analizinde dört numunenin ve Fe analizinde yedi numunenin değerlendirme limitinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmada ayrıca gıda sektöründe yenilikçi yöntemlerden biri olan ultrases yönteminin tahin ve helva üretiminde başlangıç aşamalarından biri olan susam kabuğunun soyulması üzerine geleneksel yöntemle alternatif bir yöntem olup olmayacağı araştırılmıştır. Yerli ve ithal numuneler arasından seçilen susam tohumlarına geleneksel yöntem ve ultrases yöntemi ile kabuk soyma işlemi uygulanmış, susam tohumlarında kabuk soyma oranı (%) ve 20 farklı mineralin analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde ultrases yönteminin her iki numunede de süre (5-15 dk) ve güçle doğru orantılı (%50-100) olarak

uzaklaşan kabuk oranını artırdığı belirlenmiştir. Ultrases yöntemi geleneksel yöntemde 12 saat olarak uygulanan suda bekletme işlemine kıyasla susam tohumunda uzaklaşan kabuk oranını yaklaşık %76-83 oranında artırdığı gözlenmiştir.

Ultrases yöntemin makro mineral ve ağır metal içeriği üzerine etkisi incelendiğinde süre ve güç parametrelerinin belirgin etkisi tespit edilmiştir. Ultrases yönteminde artan süre ve genlik seviyelerine bağlı olarak susam tohumunun toksik etkileri olan ağır metal içeriğinde azalma, Mg, P, K, Ca, Cu, Zn, Se, Al ve Cr içeriğinde artış, Fe, Sn, Mn, B ve Ni içeriğinde ise azalma meydana gelmiştir. Ultrases yönteminin özellikle susam kabuğu soymada verimliliği, aynı zamanda ağır metal ve Fe içeriği gibi mevzuatta limiti olan minerallerin içeriğinde neden olduğu azalma dolayısıyla geleneksel yönteme kıyasla alternatif bir yöntem olabileceği değerlendirilmektedir.

Bütün bu sonuçlar neticesinde ultrases yönteminin susam tohumlarında kabuk soyma işleminde etkili olduğu; daha kısa süre ve daha etkin kabuk soyma süreci ile tahin üretiminin kabuk soyma aşamasında su kullanımını azaltarak maliyeti düşürebileceği değerlendirilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Akbulut, M. ve Çoklar, H. (2008). Physicochemical and rheological properties of sesame pastes (tahin) processed from hulled and unhulled roasted sesame seeds and their blends at various levels. *Journal of Food Process*, 31, 488-502.
- Anonymous. (2024). (Erişim adresi: <https://www.agilent.com/en/product/atomic-spectroscopy/inductively-coupled-plasmamass-spectrometry-icp-ms/what-is-icp-ms-icp-ms-faqs>).
- AOAC. (2005). Official methods of analysis of the AOAC (18th ed.). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
- Awad, T. S., Moharram, H. A., Shaltout, O. E., Asker, D. ve Youssef, M. M. (2012). Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Research International*, 48(2), 410-427.
- Baysal, T. ve Demirdöven, A. (2012). *Ultrasound in food technology*. In Chen, D., Sharma, S. K. And Mudhoo, A. (Ed.), Handbook on applications of ultrasound sonochemistry for sustainability (pp. 163-182). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Badu, M., Pedavoah, M. M. ve Dzaye, I. Y. (2020). Proximate composition, antioxidant properties, mineral content and anti-nutritional composition of Sesamum indicum, Cucumeropsis edulis and Cucurbita pepo seeds grown in the savanna regions of Ghana. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 26(4), 329-339.
- Bamigboye, A. Y., Okafor, A. C. ve Adepoju, O. T. (2010). Proximate and mineral composition of whole and dehulled Nigerian sesame seed. *African Journal of Food Science and Technology*, 1(3), 71-75.
- Bedigian, D. (2010). *Cultivated sesame, and wild relatives in the genus Sesamum L.* In D. Bedigian (Ed.), Sesame: the genus Sesamum. Medicinal and aromatic plants-industrial profiles (pp. 33-77). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Beshaw, T., Demssie, K., Tefera, M. ve Guadie, A. (2022). Determination of proximate composition, selected essential and heavy metals in sesame seeds (Sesamum indicum L.) from the Ethiopian markets and assessment of the associated health risks. *Toxicology Reports*, 9, 1806-1812.
- Elleuch, M., Bedigian, D. ve Zitoun, A. (2011). *Nuts and seeds in health and disease prevention*. In Preedy, V. R., Watson, R. R. and Patel, V. B. (Ed.), Sesame (Sesamum indicum L.) Seeds in Food, Nutrition, and Health (pp. 1029-1036). London: Academic Press.

- El-Adawy, T. A. ve Mansour, E. H. (2000). Nutritional and physicochemical evaluations of tahina (sesame butter) prepared from heat-treated sesame seeds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 2005-2011.
- FAO/WHO (2001). Food and Agricultural Organization of the United Nations/World Health Organization, Human Vitamins and Minerals Requirements. Report of a joint expert consultation on human vitamins and mineral requirements, Bangkok, Thailand.
- FAOSTAT. (2022). (Erişim adresi: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>).
- FDA. (2023). Daily Value and Percent Daily Value on the Nutrition and Supplement Facts Labels.
- Hahm, T. S., Park, S. J. ve Lo, Y. M. (2009). Effects of germination on chemical composition and functional properties of sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds. *Bioresource Technology*, 100, 1643-1647.
- Hao, X., Zhou, D., Wang, Y., Shi, F. ve Jiang, P. (2011). Accumulation of Cu, Zn, Pb, and Cd in edible parts of four commonly grown crops in two contaminated soils. *International Journal of Phytoremediation*, 13(3), 289-301.
- Hika, W. A., Atlabachew, M., ve Amare, M. (2023). Geographical origin discrimination of Ethiopian sesame seeds by elemental analysis and chemometric tools. *Food Chemistry: X*, 17, 1-7.
- Hizaroğlu, Ö. (2013). *Gıda teknolojisinde üretim hatlarının modernizasyonu* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 376150).
- Hounkonnou, M. (2019). *Ekstraksiyonda ultrason uygulamasının susam lignanlarına etkisi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 549430).
- Hwang, S, L. (2005). *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. In Shahidi, F. (Ed.), *Sesame Oil* (pp. 537-576). New York: John Wiley & Sons Press.
- Kassaw, G., Badessa, T. S. ve Ezzez, D. (2023). Mineral contents and health risk assessment of sesame (*Sesamum Indicum* Linn) seeds grown in Ethiopia. *Journal of Food Composition and Analysis*, 123, 1-9.
- Konkol, D., Popiela, E., Skrzypczak, D., Izydorzyc, G., Mikula, K., Gersz, A., et al. (2024). Fermented rapeseed meal subjected to a biosorption process: A potential new feed additive with microelements for laying hens. *Animal Feed Science and Technology*, 308, 1-11.
- Kurt, C. (2018). Tohum kabuğu renginin susam tohumlarında bulunan demir içeriği

- düzeğine etkisi. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 21(5), 686-690.
- Labban, L. ve Sumainah, G. (2021). The Nutritive and Medicinal Properties of Tahini: A Review. *International Journal of Nutrition Sciences*, 6(4), 172-179.
- Langham D.R. (2018). IX. Sesame cycle descriptors (*Sesamum indicum* L.). Working Paper 1, 10.13140/RG.2.2.30261.58083.
- Makinde, F. M. ve Akinoso, R. (2013). Nutrient composition and effect of processing treatments on anti nutritional factors of Nigerian sesame (*Sesamum indicum* Linn) cultivars. *International Food Research Journal*, 20(5), 2293-2300.
- Mi, S., Wang, Y., Zhang, X., Sang, Y., ve Wang, X. (2022). Authentication of the geographical origin of sesame seeds based on proximate composition, multi-element and volatile fingerprinting combined with chemometrics. *Food Chemistry* 397, 1-9.
- Moreau, R. A., Nyström, L., Whitaker, B. D., Winkler-Moser, J. K., Baer, D. J., Gebauer, S. K. ve Hicks, K. B. (2018). Phytosterols and their derivatives: Structural diversity, distribution, metabolism, analysis, and health-promoting uses. *Progress in Lipid Research*, 70, 35-61.
- Nordic-Baltic Committee on Food Analysis (NMKL). (2007). Method 186.2007.
- Nzikou, J. M., Matos, L., Bouanga-Kalou, G., Ndangui, C. B., Pambou-Tobi, N. P. G., Kimbonguila, A., et al. (2009). Chemical composition on the seeds and oil of sesame (*Sesamum indicum* L.) grown in congo-brazzaville. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 1(1) 6-11.
- Özcan, M. M., Uslu, N. ve Dursun, N. (2023). The effect of sesame seed processing steps on bioactive properties, nutraceuticals and mineral contents of sesame seed, sesame paste (tehina) and oils. *Food and Humanity*, 1(1) 710-715.
- Pham, T. D., Nguyen, T. D. T., Bui, T. M. ve Carlsson, A. S. (2010). Morphological evaluation of sesame (*Sesamum indicum* L.) varieties from different origins, *Australian Journal of Crop Science*, 4(7), 498-504.
- Roy, B., Pal, A. K. ve Basu, A. K. (2021). Assessment of genetic divergence of Sesame seeds based on biochemical parameters. *Plant Science Today*, 8(1), 1-8.
- Samur, G. (2008). Vitaminler, mineraller ve sağlığımız. Sağlık Bakanlığı Yayın No: 727, Klasmat Matbaacılık, Ankara.
- Saeed, F., Qamar, A., Nadeem, M. T., Ahmed, R. S., Arshad, M. S. ve Afzaal, M. (2015). Nutritional composition and fatty acid profile of some promising sesame cultivars, *Pakistan Journal of Food Sciences*, 25(2), 98-103.
- Schössler, K., Jäger, H. ve Knorr, D. (2012). Effect of continuous and intermittent ultrasound

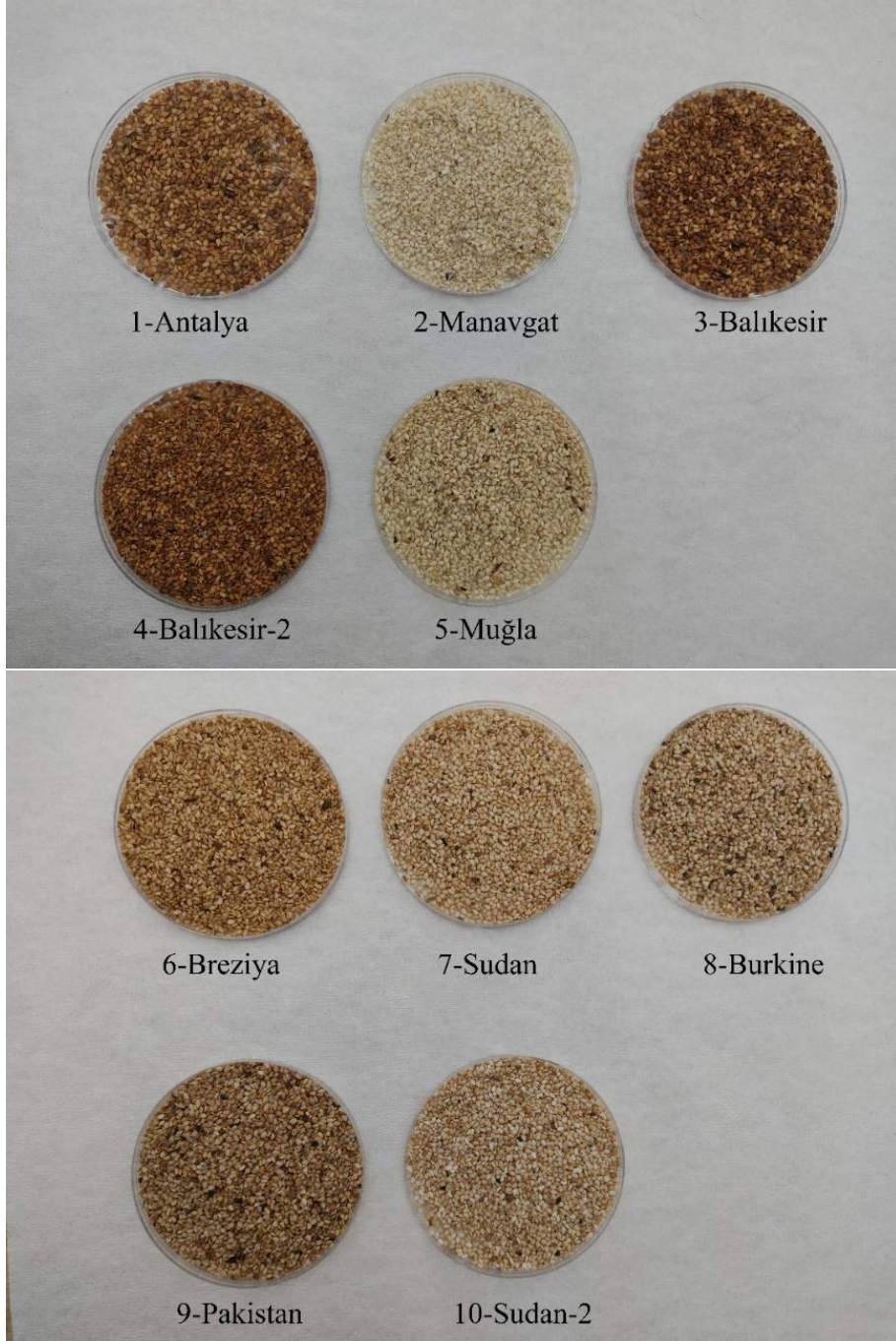
- on drying time and effective diffusivity during convective drying of apple and red bell pepper. *Journal of Food Engineering*, 108, 103-110.
- Singh, V., Kumar, S., Reddy, N. S. B., Naik, M. K., Bhat, K. V. ve Lakhanpaul, S. (2016). Devastation of sesame (*Sesamum indicum* L.) crops in different agroclimatic zones of India by genetically diverse subgroups of phytoplasma, *Crop Protection*, 86, 24-30.
- Sharma, R. ve Agrawal, M. (2005). Biological effects of heavy metals: An overview. *Journal of Environmental Biology*, 26(2), 301-313.
- Teboul, N., Gadri, Y., Berkovich, Z., Reifen, R. ve Peleg, Z. (2020). Genetic architecture underpinning yield components and seed mineral–nutrients in sesame. *Genes*, 11(10), 1221.
- Tanrıverdi, R. (2017). Susam kabuğunun soyulması üzerine enzim ve ısıl işlem uygulamalarının etkisi (Doktora Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 485113).
- Thomas, R. (2013). *Practical Guide to ICP-MS A Tutorial for Beginners*, Boca Raton, FL: CRC Press.
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2022). Bitkisel Üretim İstatistikleri (Erişim adresi: <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr>).
- Türk Gıda Kodeksi (2022). Türk Gıda Kodeksi, Baharat Tebliği (Tebliğ No:2022/7).
- Türk Gıda Kodeksi (2012). Türk Gıda Kodeksi, Bitki Adı ile Anılan Yağlar Tebliği (Tebliğ No:2012/29).
- Türk Gıda Kodeksi (2023). Bulaşanlar Yönetmeliği.
- Türk Gıda Kodeksi (2012). Türk Gıda Kodeksi, Tahin Tebliği (Tebliğ No:2015/27).
- TS 2947 EN ISO 658. (2005). *Yağlı tohumlar- Yabancı madde muhtevasının tahsisi*, Ankara.
- TS 311. (2005). *Susam Tohumu*, Ankara.
- TS 2133 ISO 930. (2001). *Baharat ve çeşni veren bitkiler- Asitte çözünmeyen kül muhtevası tayini*, Ankara.
- United State Environmental Protection Agency (USEPA). (2024). Regional Screening Level (RSL) Subchronic Toxicity Supporting Table May 2024.
- Yalçın, H. ve Çakmak, T. (2023). Heavy Metal Quantity and Health Risk Assessments in Frozen Shrimp Samples. *Kocatepe Veterinary Journal*, 16(3), 277-286.
- Varol, M. ve Sünbül, M. R. (2020). Macroelementss and toxic trace elements in muscle and liver of fish species from the largest three reservoirs in Turkey and human risk assessment based on the worst-case scenarios. *Environmental Research*, 184,

- 109298.
- Velisek, J. (2013). *The Chemistry of Food*. In Velisel, J. (Ed.), Minerals, (pp. 403-458). New York: John Wiley & Sons Press.
- Wassell, P., Bonwick, G., Smith, C.J., Almiron-Roig, E. ve Young, N. W. G. (2010). Towards a multidisciplinary approach to structuring in reduced saturated fat-based systems – a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(4), 642–655.
- Yuenyong, J., Pokkanta, P., Phuangsaikai, N., Kittiwachana, S., Mahatheeranont, S. ve Sookwong, P. (2021). GC-MS and HPLC-DAD Analysis of Fatty Acid Profile and Functional Phytochemicals in Fifty Cold-Pressed Plant Oils in Thailand. *Heliyon*, 7, e06304.
- Zhang, H., Miao, H., Wei, L., Chun, L., Zhao, R. ve Wang, C. (2013). Genetic Analysis and QTL Mapping of Seed Coat Color in Sesame (*Sesamum indicum* L.). *Plos One*, 21(8), e63898.
- Zhang, H., Miao, H. ve Ju, M. (2019). *Genomic Designing of Climate-Smart Oilseed Crops*. In Kole, J. (Ed.), Potential for Adaptation to Climate Change Through Genomic Breeding in Sesame, (pp. 371-440). Springer Science and Business Media LLC: Berlin, Germany.

EKLER

EKLER

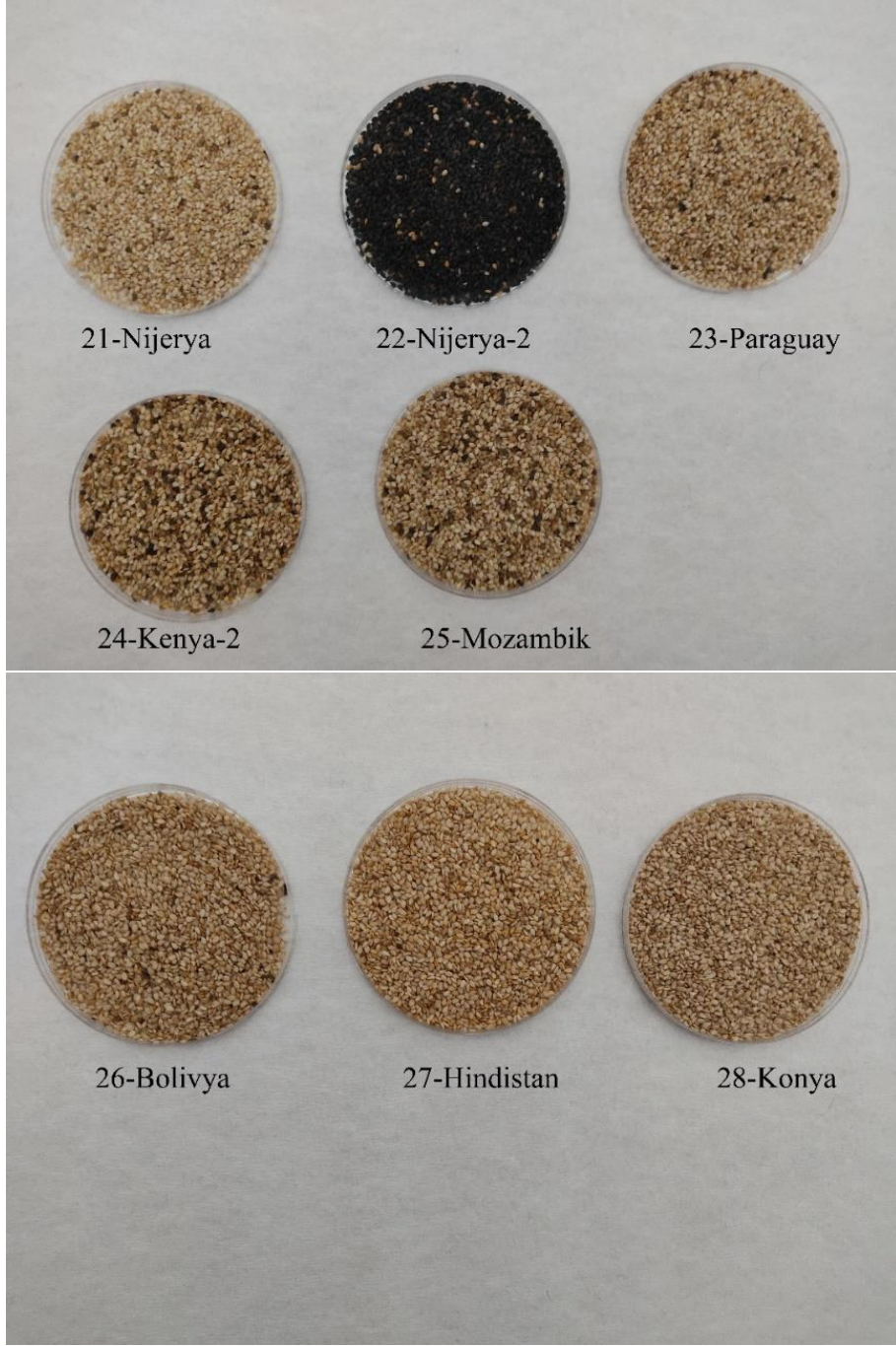
EK A: Tez Çalışmasında Kullanılan Susam ve Tahin Örneklerine Ait Resimler



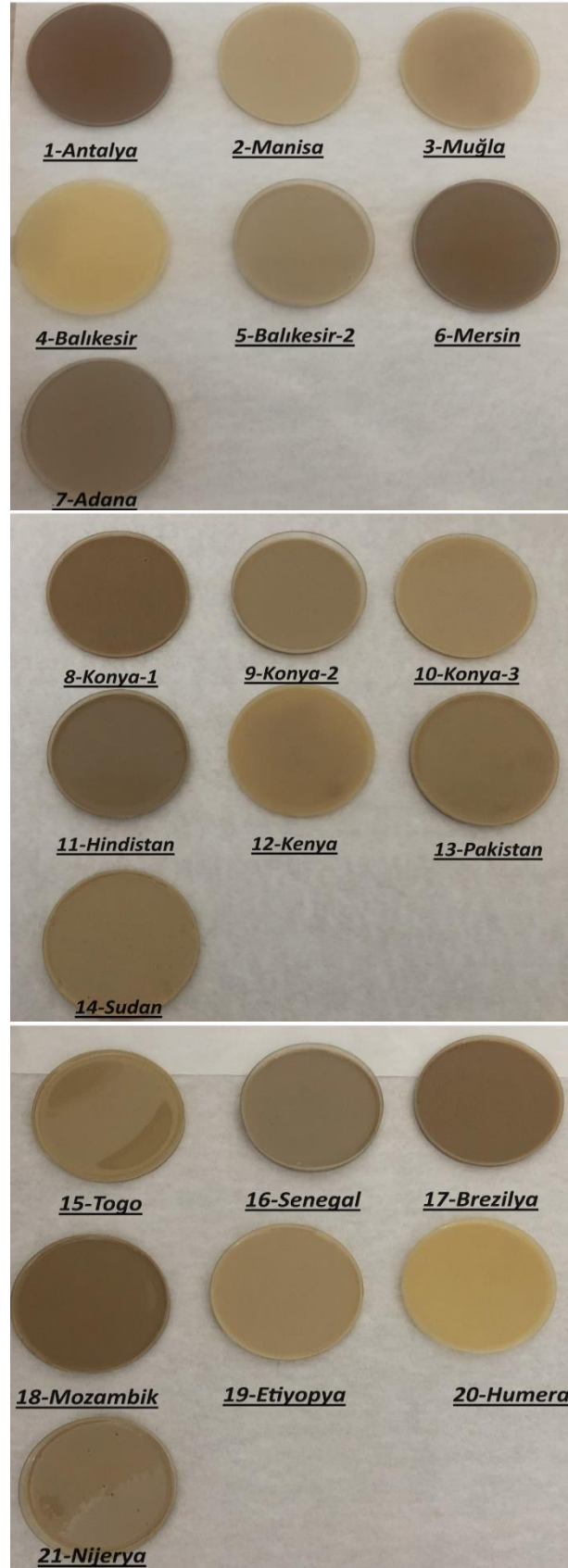
Şekil A.1: Susam tohumu numunelerinin görünüşleri.



Şekil A.1: (devam).



Şekil A.1: (devam).



Şekil A.2: Tahin numunelerinin görünümleri.

EK B: İstatistiksel Analiz Sonuçları

Tablo B.1: Yerli ve ithal susamların fiziksel ve kimyasal özellikleri istatistik analiz sonuçları.

Analiz adı	Yerli (6) İthal (22)	Min-Max analiz sonucu değeri(mg/kg)	Ortalama (mg/ kg)	Standart Sapma	p değeri	Z skoru
Toplam yabancı madde miktarı (%)		0,7-1,9	1,3	0,2975	0,040	-2,059
Nem miktarı (%)		3,1-6,7	5,0	0,7713	0,087	-1,712
Toplam Kül Miktarı (% , kuru madde)		1,8-6,0	3,6	1,0979	0,031	-2,159
%10'luk HCl'de çözünmeyen kül miktarı (%)		0,1-2,7	0,7	0,4871	0,246	-1,161
Bozuk tane miktarı (%)		0,1-1,1	0,3	0,2347	0,220	-1,226

Tablo B.2: Yerli ve ithal susamların mikro mineral içeriği istatistik analiz sonuçları.

Mineral	Yerli (6) İthal (22)	Min-Max analiz sonucu değeri (mg/kg)	Ortalama (mg/kg)	Standart Sapma	p değeri	Z skoru
Cu		10,428-78,161	26,149	22,3989	0,006	-2,743
Fe		36,247-808,988	210,884	296,0085	0,002	-3,079
Sn		0,010-0,685	0,083	0,1526	0,023	-2,269
Mn		9,950-173,716	37,380	39,7196	0,007	-2,687
Zn		26,362-201,939	69,034	52,3404	0,001	-3,247
Se		0,002-6,338	1,212	1,5646	0,867	-0,168
Al		2,685-466,775	91,512	105,5037	0,823	-0,224
B		5,786-48,394	15,417	8,1787	0,287	-1,064
Cr		0,038-6,475	0,669	1,2277	0,198	-1,288
Ni		10,428-78,161	26,149	22,3989	0,006	-2,743

Tablo B.3: Yerli ve ithal susamların makro mineral ve ağır metal içeriği istatistik analiz sonuçları.

Mineral	Yerli (6) İthal (22)	Min-Max analiz sonucu değeri (mg/kg)	Ortalama (mg/kg)	Standart Sapma	p değeri	Z skoru
Na		0,000-218	17,07	40,901	0,016	-2,408
Mg		1796,734-4601,327	2714,606	812,0034	0,000	-3,695
P		2815,115-7601,267	4691,702	1306,8287	0,000	-3,695
K		2472,112-7834,707	3858,835	1292,6419	0,000	-3,695
Ca		4543,432-13049,577	7727,236	1892,2557	0,014	-2,408
As		0,000-0,460	0,062	0,0851	0,228	-1,204
Pb		0,000-0,217	0,075	0,0555	0,053	-1,932
Cd		0,000-1,106	0,090	0,2259	1,000	0
Hg		0,000-1,117	0,113	0,2435	0,384	0,870
Sb		0,000-0,438	0,172	0,1540	0,002	-3,137

Tablo B.4: Yerli ve ithal susamlardan üretilen tahinlerin kimyasal içeriği istatistik analiz sonuçları.

Analiz adı	Yerli (10) İthal (11)	Min-Max analiz sonucu değeri (mg/kg)	Ortalama (mg/kg)	Standart Sapma	p değeri	Z skoru
Nem Miktarı		0,2-0,8	0,5	0,2008	0,722	-0,356
Protein		20,5-26,5	22,4	1,4917	0,778	-0,282
Karbonhidrat		13,6-29,4	21,6	3,8372	0,05	-2,818
Yağ		44,8-62,3	55,2	4,8604	0,360	-0,915
Kül		1,7-3,0	2,3	0,3501	0,697	-0,389

Tablo B.5: Yerli ve ithal susamlardan üretilen tahinlerin mikro mineral içeriği istatistik analiz sonuçları.

Mineral	Yerli (10) İthal (11)	Min-Max analiz sonucu değeri (mg/kg)	Ortalama (mg/kg)	Standart Sapma	p değeri	Z skoru
Cu		5,822-22,850	14,588	4,1392	0,398	-0,845
Fe		27,731-158,770	67,289	32,1864	0,091	-1,690
Sn		0,000-0,103	0,031	0,0311	0,323	-0,988
Mn		7,600-46,091	17,477	7,9167	0,049	-1,972
Zn		27,362-88,027	56,060	15,0853	0,725	-0,352
Se		0,001-1,869	0,558	0,4833	0,439	-0,775
Al		3,261-145,124	24,903	35,497	0,121	-1,549
B		5,322-26,443	12,885	4,6162	0,041	-2,042
Cr		0,005-1,220	0,267	0,2881	0,041	-2,042
Ni		0,420-32,589	9,598	10,1436	0,014	-2,465

Tablo B.6: Yerli ve ithal susam numunelerinden üretilen tahinlerin makro mineral ve ağır metal içeriği istatistik analiz sonuçları.

Mineral	Yerli (10) İthal (11)	Min-Max analiz sonucu değeri (mg/kg)	Ortalama (mg/kg)	Standart Sapma	p değeri	Z skoru
Na		795,919-3511,619	1694,847	740,6058	0,020	-2,324
Mg		846,187-5407,892	3486,920	1434,7903	0,139	-1,479
P		1538,870-8466,581	5292,732	1684,9915	0,573	-0,563
K		786,224-6164,726	3611,470	1704,9216	0,121	-1,549
Ca		732,854-10337,016	2165,350	2402,3421	0,833	-0,211
As		0,002-0,176	0,041	0,04498	0,260	-1,127
Pb		0,000-0,242	0,684	0,06838	0,181	-1,338
Cd		0,003-1,269	0,213	0,5047	0,572	-0,565
Hg		-	-	-	-	-
Sb		0,001-0,369	0,111	0,13215	0,572	-0,565

Tablo B.7: Geleneksel yöntem ve ultrases yöntemi ile kabuğu soyulan Muğla susamının uzaklaşan kabuk oranı istatistik analiz sonuçları.

Yöntem	p değeri
Geleneksel yöntem	-
Ultrases Yöntemi 50 AM	0,351
Ultrases Yöntemi 100 AM	0,05

Tablo B.8: Geleneksel yöntem ve ultrases yöntemi ile kabuğu soyulan Togo susamının uzaklaşan kabuk oranı istatistik analiz sonuçları.

Yöntem	p değeri
Geleneksel yöntem	-
Ultrases Yöntemi 50 AM	0,566
Ultrases Yöntemi 100 AM	0,05

Tablo B.9: Geleneksel yöntem ve ultrases yöntemi ile kabuğu soyulan Muğla ve Togo susamının mikro mineral içeriği istatistik analiz sonuçları.

Menşei	Cu	Fe	Sn	Mn	Zn	Se	Al	B	Cr	Ni
	p değeri									
Muğla	0,860	0,940	0,054	0,566	0,797	0,677	0,411	0,385	0,179	0,090
Togo	0,572	0,620	0,583	0,582	0,675	0,779	0,918	0,088	0,533	0,143

Tablo B.10: Geleneksel yöntem ve ultrases yöntemi ile kabuğu soyulan Muğla ve Togo susamının makro mineral ve ağır metal içeriği istatistik analiz sonuçları.

Menşei	Na	Mg	P	K	Ca	As	Pb	Cd	Sb
p değeri									
Muğla	0,001	0,482	0,593	0,532	0,013	0,565	0,080	0,013	0,003
Togo	0,004	0,207	0,427	0,506	0,012	0,065	0,228	1	0,224

Tablo B.11: Ultrases yöntemi ile kabuğu soyulan Muğla ve Togo susamının mikro mineral içeriği istatistik analiz sonuçları.

Menşei	Cu	Fe	Sn	Mn	Zn	Se	Al	B	Cr	Ni
p değeri Genlik (%50-100)										
Muğla	0,896	0,046	0,000	0,002	0,016	0,001	0,904	0,002	0,023	0,000
Togo	0,025	0,695	0,000	0,007	0,056	0,009	0,378	0,003	0,012	0,015

Tablo B.12: Geleneksel yöntem ve ultrases yöntemi ile kabuğu soyulan Togo susamının makro mineral ve ağır metal içeriği istatistik analiz sonuçları.

p değeri Genlik (%50-100)	Na	Mg	P	K	Ca	As	Pb	Cd	Sb
p değeri Genlik (%50-100)									
Muğla	0,003	0,339	0,030	0,021	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Togo	0,052	0,041	0,001	0,174	0,000	0,014	0,005	0,001	0,714

EK C: Tez Çalışmasında Kullanılan Ekipmanlara İlişkin Görseller



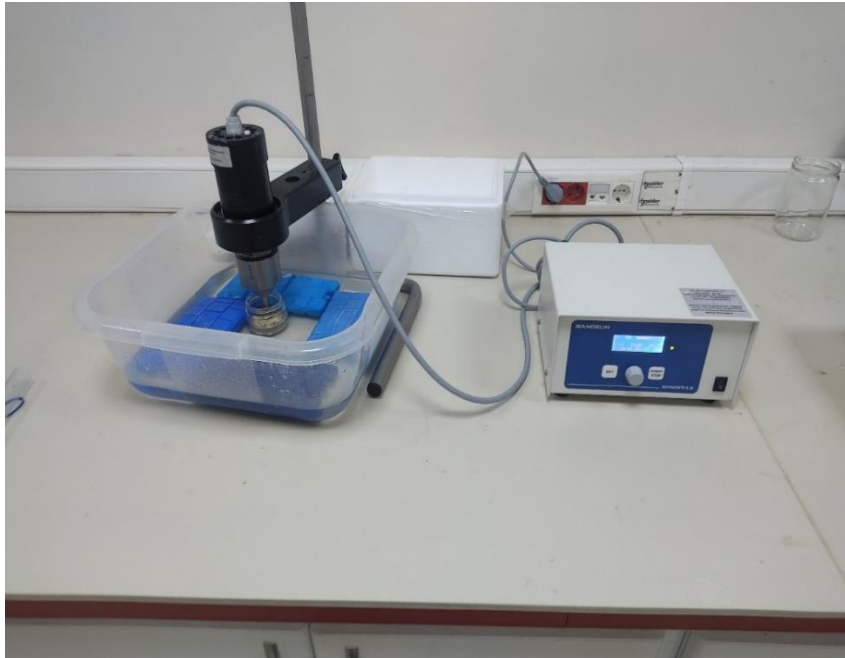
Şekil C.1: ICP-MS.



Şekil C.2: Mikrodalga yakma ünitesi.



Şekil C.3: Mikrodalga yakma ünitesinde kullanılan ekipmanlar.



Şekil C.4: Çalışmada kullanılan ultrases sistemi.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Ömer Faruk Koçak
Doğum tarihi ve yeri : 05.11.1991 - Yozgat
e-posta : 202112662003@ogr.balikesir.edu.tr

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Lisans	Hacettepe Üniversitesi/Gıda Mühendisliği	2017
Lise	Erdoğan Akdağ Anadolu Öğretmen Lisesi, Yozgat	2009