

Muhtelif susam ve tahin ürünlerinin mineral içeriklerinin ICP-MS yöntemi ile belirlenmesi

Sibel YAĞCI, Ömer Faruk KOÇAK

Cite this article as:

Yağcı, S., Koçak, Ö.F. (2025). Muhtelif susam ve tahin ürünlerinin mineral içeriklerinin ICP-MS yöntemi ile belirlenmesi. Food and Health, 11(2), 173-184. <https://doi.org/10.3153/FH25014>

Balıkesir Üniversitesi Gıda Mühendisliği
Bölümü, 10145, Balıkesir, Türkiye

ORCID IDs of the authors:

S.Y. 0000-0001-5985-9539

Ö.F.K. 0000-0002-7909-9781

Submitted: 18.02.2025

Revision requested: 07.03.2025

Last revision received: 12.03.2025

Accepted: 15.03.2025

Published online: 21.03.2025

Correspondence:

Sibel YAĞCI

E-mail: sibelvagci@balikesir.edu.tr



© 2025 The Author(s)

Available online at
<http://jfh.sscientificwebjournals.com>

ÖZ

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. Susam ve tahin numuneleri ayrıca Türk Gıda Kodeksin susam ve tahin tebliğinde yer alan bazı fiziksel ve kimyasal analizler bakımından da test edilerek numunelerin kodekse uygunlukları incelendi. Araştırmada test edilen susam ve tahin örneklerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri büyük oranda tahin ve susam tebliğinde belirtilen değerlerle uyum içerisindedir. Susam tohumlarının 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, cıva 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. Çalışmada elde edilen verilere göre mineral içeriği susam tohumunun menşesine, rengine ve çeşidi gibi değişkenlere bağlı olarak farklılıklar göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: ICP-MS, Mineral analizi, Susam, Tahin

ABSTRACT

Determination of mineral contents of various sesame and tahini products by ICP-MS method

In this study, 20 different minerals were analysed using the ICP-MS method in 28 domestic and imported sesame seeds used in our country, and 21 tahini products were produced from these sesame varieties and offered for sale. Samples of sesame and tahini were tested for various physical and chemical analyses outlined in the Turkish Food Codex, and the compliance of these samples with the codex was assessed. The physical and chemical properties of the analysed sesame and tahini samples largely align with the values specified in the tahini and sesame codex. Although the mineral contents of analysed 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. According to the data obtained in the study, mineral content varies depending on variables such as the origin, colour and variety of sesame seed.

Keywords: ICP-MS, Mineral analysis, Sesame, Tahini

Giriş

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). 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 edilmektedir. Dünyada susam üretiminde öncü ülkelere bakıldığında Sudan 1.231.701 ton, Hindistan 788.740 ton, Myanmar 760.925 ton, Tanzania 700.000 ton, Nijerya 450.000 ton susam üretimi ile önde gelmektedir (FAOSTAT, 2022). Ülkemizdeki üretim miktarları 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’de gerçekleşmektedir (TÜİK, 2022). 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.

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. Yapılan araştırmalarda susam tohumunun mineral içeriklerinin özellikle kabuk rengine bağlı olarak oldukça farklılık arz ettiği kaydedilmiştir (Zhang ve ark., 2013). 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 dolmu yapılmaması 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 (Anonim, 2015). 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.

ICP-MS (İndüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometrisi) kantitatif ve kantitatif mineral analizinde kullanılan bir tür kütle spektroskopisi olup, 1983 yılında ticarileştirilmesi ile en çok kullanılan eser mineral analiz tekniğidir. 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) kullanılarak iyonları ölçer. 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. Gıda örneklerinde mineral analizleri organik kısmın kapalı sistem mikrodalga çözümü ünitelerinde asit yardımı ile parçalanması ve geriye kalan inorganik kısımdaki minerallerinin ICP-MS cihazı ile tespit edilmesi esasına dayanır (NMKL, 2007). Mineral analizi, gıdalarda ve sularda özellikle toksik etkide olan minerallerin miktar analizinde önemliyen gıdalarda bulunan insan sağlığı için gerekli mikro ve makro minerallerin analizleri için de önem taşımaktadır (Thomas, 2013). Literatürde susam ve susam ürünlerinde mineral analizi ile ilgili yapılan bazı çalışmalar bulunmakla birlikte (Hika ve ark. (2023); Özcan ve ark. (2023); Mi ve ark. (2022); Labban ve Sumainah (2021); Saeed ve ark. (2015); Akbulut ve Çoklar (2008)), yirmi farklı mineralin bu alanda en hassas yöntem olarak kabul edilen ICP-MS cihazı ile analiz edildiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada ülkemizde kullanılan bazı yerel ve ithal susam çeşitlerinin ve bu susam çeşitlerinden üretilerek satışa sunulan tahinlerin mineral içerikleri, bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri belirlenmiştir.

Materyal ve Metot

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. Toplamda 28 adet susam ve 21 adet tahin numunesi analiz edilmiştir.

Susam ve Tahin Analizleri

Susam örneklerinde yabancı madde analizi (TS 2947), bozuk tane analizi (TS 311), nem analizi (AOAC), toplam kül analizi ve %10'luk hidroklorik asitte çözünmeyen kül analizi (TS 2133) Türk Gıda Kodeksi ve Amerikan Resmi Analitik Kimyacılar Birliği (AOAC) tarafından önerilen standart yöntemler kullanılarak analiz edilmiştir (Anonim 2001; Anonim 2005a; Anonim 2005b; AOAC, 2005). Tahin örneklerinde nem, protein, yağ, kül ve mineral analizleri AOAC ve Nordic-Baltic Gıda Analiz Komitesi tarafından yayınlanan standart analiz yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir (AOAC, 2005; NMKL, 2007). Fiziksel analizlerde ölçümler üç tekrarlı, kimyasal analizlerde ölçümler iki tekrarlı yapılarak sonuçların ortalamaları alınmıştır.

ICP-MS Yöntemi ile Mineral Analizi

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. Tablo 1'de ICP-MS sisteminde kullanılan çalışma şartları gösterilmiştir.

Tablo 1. ICP-MS çalışma şartları

Table 1. ICP-MS operating conditions

Parametre	Değer
Cihaz gücü (W)	1550
Argon gazı basıncı (kPa)	650-750
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

Susam ve tahin numunelerinden yaklaşık 0.2 g tartılarak cihaza özel teflon kaplara ve sonra 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 kapların içeriği 50 ml'lik deney tüplerine aktarıldıktan sonra son hacim saf su ile 50 mL'ye tamamlanmış ve örnekler ICP-MS cihazında analiz edilmiştir. Minerallere ait kalibrasyon aralıkları (mg/kg) 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).

İstatistiksel Analiz

Analizlerden elde edilen deneysel veriler SPSS istatistik 20 paket programı (IBM corp, Armonk, NY, ABD) kullanılarak istatistiki açıdan değerlendirilmiştir. Varyans analiz tekniği (ANOVA) ile grup ortalamaları arasındaki farklar belirlenmiştir. Önemli bulunan ana varyasyon kaynaklarının ortalamaları Tukey Çoklu Karşılaştırma testi ile karşılaştırılmıştır (p<0.05).

Bulgular ve Tartışma

Susam ve Tahin Numunelerinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Susam numunelerinin fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları Tablo 2'de sunulmaktadır. Susam numunelerindeki toplam yabancı madde miktarı %0.7-1.9 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 bir fark (p<0.05) bulunduğu tespit edilmiştir.

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 (Anonim, 2022). 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.

Literatürde yapılan çalışmalarda Togo, Sudan, Mozambik susam tohumları (Mi ve ark., 2022), Pakistan bölgesine ait beyaz, siyah ve kahverengi susam tohumları (Saeed ve ark., 2015) ve Nijerya susamı (Bamigboye ve ark., 2010) gibi farklı bölgelerden elde edilen susam tohumlarının nem içeriklerinin %3 ile %5 arasında ve kül içeriğinin ise %7 ile %12 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen

nem ve kül analizlerinin sonuçları literatürde bildirilen sınırlar içinde yer almaktadır ve bu çalışmalardaki veriler ile uyum içindedir.

Çalışmada analiz edilen tahin numunelerinin kimyasal analizleri sonucu elde edilen veriler Tablo 3'te gösterilmektedir. Tahin numunelerinin nem içeriği %0.2-0.8; protein içeriği %20.5-26.5; yağ içeriği %44.8-62.3 ve kül içeriği %1.7-3.0 aralığında değişmektedir. Tahin numunelerinin kimyasal

analiz sonucu elde edilen verileri arasında istatistiki olarak önemli fark bulunmamaktadır ($p>0.05$). Türk Gıda Kodeksi Tahin Tebliğinde (Anonim, 2015) 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 sonuçlarının tahin standardı ile uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Tablo 2. Susam tohumlarının fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

Table 2. Physical and chemical analysis results of sesame seeds

Susam menşei	Toplam yabancı madde miktarı (%)*	Nem miktarı (%)	Toplam kül miktarı (% kuru bazda)*	%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	4.1	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

* istatistiksel olarak numuneler arasında fark olduğunu gösterir.

Tablo 3. Tahin numunelerinin kimyasal analiz sonuçları**Table 3.** Chemical analysis results of tahini samples

Tahin menşei	Nem (%)	Protein (%)	Yağ (%)	Kül (%)
Antalya	0.8	22.7	55.2	2.2
Manisa	0.6	21.1	58.3	2.4
Muğla	0.5	20.9	62.3	2.7
Balıkesir	0.2	21.2	58.1	2.3
Balıkesir-2	0.3	23.2	52.2	2.6
Mersin	0.4	23.9	50.6	2.8
Adana	0.8	26.5	44.8	2.2
Konya	0.5	22.1	56.2	1.9
Konya-2	0.7	23.1	50.9	1.7
Konya-3	0.7	20.7	55.1	1.9
Hindistan	0.8	20.5	53.7	2.1
Kenya	0.6	21.3	58.9	2.0
Pakistan	0.6	22.0	60.1	1.8
Sudan	0.5	20.6	61.2	1.9
Togo	0.7	23.7	60.3	2.3
Senegal	0.4	22.9	57.6	2.2
Brezilya	0.3	22.5	55.8	2.1
Mozambik	0.5	24.6	56.9	2.4
Etiyopya	0.3	23.0	55.4	2.1
Humera	0.2	22.5	44.9	3.0
Nijerya	0.8	21.7	49.8	2.7

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 çalışmada kabuklu susamdan üretilen Hümera tahininin (Tablo 3) nem ve yağ içeriğinin oldukça düşük olduğu, protein ve kül içeriğinin ise bu çalışmadaki sonuç ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. 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 analiz edilen tahin numunelerinin nem miktarının daha düşük, protein miktarının daha yüksek ve yağ miktarının da uyumlu olduğu görülmektedir. El-Adawy ve Mansour (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 literatür ile uyum içerisindedir.

Susam Numunelerinin Mineral Analiz Sonuçları

ICP-MS ile yapılan mineral analizleri sonucunda 28 adet susam örneğinde elde edilen veriler mikro mineral içeriği olarak Tablo 4'te; makro mineral ve ağır metal içerikleri olarak Tablo 5'te sunulmaktadır. Susam numunelerinin mineral analizleri sonucu elde edilen veriler Tablo 4 ve 5'te gösterilmektedir. Analiz edilen yerli ve ithal susam tohumlarında mikro minerallerden Cu, Fe, Sn, Mn, Zn, Al ve Ni; makro minerallerden Na, Mg, P, K ve Ca; ağır metallere Sb arasında istatistiki olarak önemli fark ($p < 0,05$) bulunmaktadır. 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.

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). 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 çalışmada susam numuneleri toplamda yirmi 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. Fe, Mn, Zn, Al, Ni ve Cu mineralleri ise susam örneklerinde daha az miktarda bulunmaktadır. Cr, Na, Se, B ve Sn mineralleri ise susam tohumunda düşük miktarda belirlenen diğer minerallerdir (Tablo 4-5). 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 çalışmada 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 hücre 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 bağırsıklık sisteminin çalışmasında önemli görevleri bulunmaktadır. Mn antioksidan özelliği olan birçok enzim için bir ko-faktördür ve antioksidan enzim karbonhidratlarda, protein-

lerde ve yağlarda rol oynar. Zn, antioksidan savunma hastalıklarında önemli bir rol oynar ve Zn eksikliği bozulmuş glikoz toleransı gibi metabolik anormalliklerle ilişkilendirilmiştir (Badu ve ark., 2020; FAO/WHO, 2001).

Tablo 4. Susam numunelerinin mikro mineral içeriği (mg/kg)

Table 4. Micro mineral content of sesame samples (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
Balıkesir	11.526	626.856	0.071	19.819	44.941	0.038	62.514	5.919	0.349	124.025
Balıkesir-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

* istatistiksel olarak numuneler arasında fark olduğunu gösterir.

Tablo 5. Susam tohumlarının makro-mineral ve ağır metal içeriği (mg/kg)**Table 5.** Macro-mineral and heavy metal content of sesame seeds (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	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-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

* istatistiksel olarak numuneler arasında fark olduğunu gösterir.

Susam numunelerinde mikro mineral açısından Cu, Fe, Mn, Sn, Zn, Se, Al, B ve Ni mineralleri yerli susam numunelerinde daha yüksek değerde bulunurken; Al ve Cr mineralleri ithal susam numunelerinde daha yüksek değerde bulunmuştur (Tablo 4). Makro mineraller açısından Mg, P, K ve Ca mineralleri yerli susam numunelerinde daha yüksek değerde bulunurken; Na minerali 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 5).

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 sıra-

sıyla 0.17, 0.17 ve 0.05 olarak bildirmiştir. Bu çalışmada, susam numunelerinin B içeriğinin Mi ve ark. (2022) çalışmasında bildirilenle benzerlik gösterdiği (9.020, 5.787 ve 12.744 mg/kg); Mn içeriğinin daha yüksek olduğu (23.434, 36.226 ve 16.838 mg/kg) ve Se içeriğinin (0.008, 0.002 ve 0.450 mg/kg) daha düşük olduğu tespit edilmiştir. 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 çalışmadaki 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 ark. (2022) tarafından elde edilen sonuçlardan daha düşük olduğu görülmektedir. 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. Bu çalışmada kullanılan kahverengi Pakistan susamı numunesinin Fe ve Zn içeriğinin (263.226 ve 94.964 mg/kg) Saeed ve ark. (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 ark. (2010) tarafından bildirilen sonuçlardan oldukça yüksek; Zn (33.701 mg/kg) içeriği ise daha düşüktür.

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 çalışmada kullanılan kahverengi Pakistan susamı numunesinin Ca, Mg ve K içeriğinin (7682.567; 2338.004 ve 3685.834 mg/kg) Saeed ve ark. (2015) tarafından bildirilenden sonuçlardan oldukça yüksektir. 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 içeriği Bamigboye ve ark. (2010) tarafından raporlanan değerlerden oldukça yüksek; Na: 0.732 mg/kg içeriği 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) otuz 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 bulaşı olabilmesi riski dolayısıyla büyük endişelere neden olmaktadır. ICP-MS sistemi ile analiz edilen 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 kirlenmiş 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 çalışmada susam numuneleri (mg/kg cinsinden ortalama Pb: 0.075 ve Cd: 0.090) için tespit edilen değerlerden oldukça düşüktür. Balıkesir iline ait iki numunede sırasıyla Pb: 0.018, Cd: 0.016, As: 0.105 ve Pb: 0.024, Cd: 0.008 ve As: 0.279 mg/kg olarak bulunmuştur. Bulunan bu değerler farklı tarlalardan hasat edilen susam tohumunun toprak içeriğine bağlı ağır metal içeriğinin değişebileceğini göstermektedir.

Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliğinde (Anonim, 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.

Tahin Numunelerinin Mineral Analiz Sonuçları

Tahin numunelerinin mineral analizleri sonucu elde edilen veriler Tablo 6 ve 7'de sunulmaktadır. Susam numunelerindeki mineral içeriği mg/kg açısından Cu: 5.822-22.850, Fe: 27.731-158.770, Sn: 0.001-0.104, 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: 786.224-6164.726, Ca: 732.854-10337.016, As: 0.003-0.176, Pb: 0.000-0.242, Cd: 0.003-1.269, Hg: (tüm numunelerde tespit edilemedi) ve Sb: 0.001-0.369 aralığındadır.

değişmektedir. Analiz edilen yerli ve ithal tahin numunelerinde mikro minerallerden Mn, B, Cr, Al ve Ni; makro minerallerden Na arasında istatistiki olarak önemli fark ($p<0.05$) bulunmaktadır.

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 (Anonim, 2015). 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 limiti-

nin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuca göre ithal susamdan üretilen tahin numunelerinin yerli susamdan üretilenlere kıyasla tahin tebliğine daha uygun oldukları görülmektedir.

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 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6. Tahin numunelerinin mikro-mineral içeriği (mg/kg)

Table 6. Micro-mineral content of tahini samples (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

* istatistiksel olarak numuneler arasında fark olduğunu gösterir.

Tablo 7. Tahin numunelerinin makro-mineral ve ağır metal içeriği (mg/kg) (TE: tespit edilemedi)**Table 7.** Macro-mineral and heavy metal content of tahini samples (mg/kg) (ND: not detected)

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

* istatistiksel olarak numuneler arasında fark olduğunu gösterir.

Özcan ve ark. (2023), susam tohumu işlenmesinde yer alan proses aşamalarının tahin içeriği üzerine etkisinin incelendiği çalışmada 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 bildirmiş ve proses etkisinin mineral içeriği açısından anlamlı bir farklılık ($p < 0.05$) oluşturduğunu bildirmişlerdir. 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 çalışmada analiz edilen tahin numunelerinde Fe, Se, Ca, Mg ve Na minerali daha yüksek Cu ve P minerali literatüre kıyasla daha düşük bulunmuştur.

El-Adawy ve Mansour (2000), yapmış oldukları çalışmada; tahin üretiminde kavurma işlemini buharda, vakumla, sıcak tabakada ve sıcak havada gerçekleştirmişlerdir. Yapılan ça-

lışmada tahin numunelerinin mg/kg cinsinden mineral içeriklerinin Cu: 20-21, Zn: 80-83, Fe: 85-89, Mn: 15-17, Na: 1240-1300, Ca: 620-660, Mg: 3020-3110 ve K: 2880-2930 mg/kg aralığında değiştiği bildirilmiştir. Farklı kavurma işlemlerinin mineral madde miktarını oldukça düşük düzeyde etkilediği sonucuna varılmıştır. Bu sonuçlar bizim çalışmamızda elde ettiğimiz değerler ile uyumlu olmakla birlikte Mn, Na, Ca, Mg ve K minerali nispeten daha yüksek Cu, Zn ve Fe minerali ise daha düşük değerlerde bulunmuştur.

Sonuç

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. Mineral içeriği susam tohumunun menşesine, rengine ve çeşidi gibi değişkenlere bağlı olarak farklılıklar göstermektedir.

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.

Tahin numunelerinin kimyasal analiz sonuçları Türk Gıda Kodeksi Kodeksi Tahin Tebliğine (Tebliğ No:2015/27) göre değerlendirildiğinde tüm numunelerde nem, protein ve kül miktarları tahin için bildirilen değerler açısından uygun bulunmuştur. Aynı tebliğde mineral içerikleri açısından belirtilen 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 (Anonim, 2015). Yerli susamdan üretilen bazı tahinlerin mineral içeriği açısından tebliğde belirtilen limitlerin üzerinde oldukları görülmektedir. Tahinin günlük mineral ihtiyacını karşılama oranları dikkate alındığında 100 gram tahin tüketiminin, Cu ve Se ihtiyacının tamamını; Mg, Mn ve Zn ihtiyacının ise yaklaşık yarısını karşıladığı tespit hesaplanmıştır.

Etik Standartlar ile Uyumluluk

Çıkar çatışması: Yazarlar, bu yazı için gerçek, potansiyel veya algılanan çıkar çatışması olmadığını beyan etmişlerdir.

Etik izin: Araştırma niteliği bakımından etik izne tabii değildir.

Veri erişilebilirliği: Veriler talep üzerine sağlanacaktır.

Finansal destek: Bu çalışma Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) birimi tarafından (2023-108) numaralı proje ile desteklenmiştir.

Teşekkür: Araştırmada kullanılan susam ve tahin numunelerinin temini konusunda TUNAS Gıda Pazarlama ve Tic. Ltd. Şti. çalışanlarına teşekkür ederiz. ICP-MS cihazının kullanımında gösterdikleri destek için Balıkesir Gıda Kontrol Laboratuvar Müdürlüğüne teşekkür ederiz.

Açıklama: Bu makale "Muhtelif susam ve tahin ürünlerinin mineral içeriklerinin belirlenmesi ve ultrases kabuk soyma işleminin susamın mineral içeriği üzerine etkisi" adlı yüksek lisans tez çalışmasından üretilmiştir.

Kaynaklar

Akbulut, M., Çoklar, H. (2008). Physicochemical and rheological properties of sesame pastes (tahin) processed from hulled and unhulled roasted sesame seeds and their blends at various levels. *Journal of Food Process*, 31, 488-502.

<https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2007.00162.x>

Anonim (2001). TS 2133 ISO 930 Baharat ve çeşni veren bitkiler- Asitte çözünmeyen kül muhtevası tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Anonim (2005-a). TS 2947 EN ISO 658. Yağlı tohumlar-Yabancı madde muhtevasının tahsisi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Anonim (2005-b). TS 311 Susam Tohumu. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Anonim (2015). Türk Gıda Kodeksi Tahin Tebliği (Tebliğ No:2015/27). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Anonim (2022). Türk Gıda Kodeksi, Baharat Tebliği (Tebliğ No:2022/7). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Anonim (2023). Türk Gıda Kodeksi, Bulaşanlar Yönetmeliği. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

AOAC (2005). Official methods of analysis of the AOAC (18th ed.). Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC.

Badu, M., Pedavoah, M.M., 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.

<https://doi.org/10.1080/10496475.2020.1747581>

Bamigboye, A.Y., Okafor, A.C. 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.

El-Adawy, T.A., 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.

[https://doi.org/10.1002/1097-0010\(200011\)80:14<2005::AID-JSFA740>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/1097-0010(200011)80:14<2005::AID-JSFA740>3.0.CO;2-J)

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). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Crops and livestock products.

<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>

(Erişim tarihi 15.02.2025).

FDA (2023). Daily Value and Percent Daily Value on the Nutrition and Supplement Facts Labels.

<https://www.fda.gov/food/nutrition-facts-label/daily-value-nutrition-and-supplement-facts-labels>

(Erişim tarihi 15.02.2025).

Hahm, T.S., Park, S.J., Lo, Y.M. (2009). Effects of germination on chemical composition and functional properties of sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds. *Bioresource Technology*, 100, 1643-1647.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.09.034>

Hao, X., Zhou, D., Wang, Y., Shi, F., 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.

<https://doi.org/10.1080/15226514.2010.483260>

Hika, W.A., Atlabachew, M., Amare, M. (2023). Geographical origin discrimination of Ethiopian sesame seeds by elemental analysis and chemometric tools. *Food Chemistry*, 17, 1-7.

<https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100545>

Kurt, C. (2018). Tohum kabuğu renginin susam tohumlarında bulunan demir içeriği düzeyine etkisi. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 21(5), 686-690.

<https://doi.org/10.18016/ksudobil.403601>

Labban, L., Sumainah, G. (2021). The Nutritive and Medicinal Properties of Tahini: A Review. *International Journal of Nutrition Sciences*, 6(4), 172-179.

<https://doi.org/10.30476/ijns.2021.90294.1123>

Mi, S., Wang, Y., Zhang, X., Sang, Y., 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.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133779>

NMKL (2007). Nordic-Baltic Committee on Food Analysis Method 186. Trace elements - As, Cd, Hg, Pb and other elements. Determination by ICP-MS after Pressure Digestion.

Nzikou, J.M., Matos, L., Bouanga-Kalou, G., Ndangui, C. B., Pambou-Tobi, N. P. G., Kimbonguila, A. (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., 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.

<https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.07.013>

Roy, B., Pal, A.K., Basu, A.K. (2021). Assessment of genetic divergence of Sesame seeds based on biochemical parameters. *Plant Science Today*, 8(1), 1-8.

<https://doi.org/10.14719/pst.2021.8.1.752>

Saeed, F., Qamar, A., Nadeem, M.T., Ahmed, R.S., Arshad, M.S. Afzaal, M. (2015). Nutritional composition and fatty acid profile of some promising sesame cultivars, *Pakistan Journal of Food Sciences*, 25(2), 98-103.

Samur, G. (2008). Vitaminler, mineraller ve sağlığımız. Sağlık Bakanlığı Yayın No: 727, Klasmat Matbaacılık, Ankara.

Teboul, N., Gadri, Y., Berkovich, Z., Reifen, R., Peleg, Z. (2020). Genetic architecture underpinning yield components and seed mineral-nutrients in sesame. *Genes*, 11(10), 1221.

<https://doi.org/10.3390/genes11101221>

Thomas, R. (2013). Practical Guide to ICP-MS A Tutorial for Beginners, Boca Raton, FL: CRC Press.

<https://doi.org/10.1201/b14923>

TUİK (2022). Türkiye İstatistik Kurumu. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr>.(Erişim tarihi 15.02.2025).

Zhang, H., Miao, H., Wei, L., Chun, L., Zhao, R. Wang, C. (2013). Genetic Analysis and QTL Mapping of Seed Coat Color in Sesame (*Sesamum indicum* L.). *Plos One*, 21(8), e63898.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0063898>