



Optimization of Sesame Roasting Conditions with Air Fryer and Comparison of Its Properties with Conventional Roasting

Mustafa Şamil Argun^{1,a,*}, Abdullah Kurt^{1,b}

¹Selçuk Üniversitesi, Akşehir Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü 42550, Konya, Türkiye

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Research Article</i></p> <p>Received : 18.07.2024 Accepted : 31.07.2024</p> <p>Keywords: Sesame Roasting optimization Air fryer Fatty acid composition HMF</p>	<p>The most important stage in sesame paste (tahini) production is roasting as it affects the physical and chemical properties of sesame. This study aimed to determine the optimum roasting conditions for unhulled sesame seeds used in tahini production using an air fryer and to compare their properties with the conventional method. Within the scope of the study, unhulled sesame seeds were roasted at different temperatures (160°C, 180°C and 200°C) and times (15-70 minutes) by spreading them into the chamber of the air fryer at a rate of 0.8 g/cm³. The temperature and time parameters in the roasting process were optimized using the response surface methodology. According to the ΔE (color difference) and water activity data of the roasted samples, the optimum temperature and time for the air fryer were determined to be 181.1°C and 36.7 minutes. As a result of roasting in an air fryer, the oil yield increased from 50% to 60% compared to conventional roasting. The lowest peroxide value, 1.69 meq O₂/kg, was detected in a hot air fryer at 180°C for 35 minutes. FTIR results also indicated that sesame seeds roasted with an air fryer were more resistant to oxidation. The acidity values and fatty acid compositions of sesame seeds roasted in an air fryer in a time five times shorter were found to be similar to those of conventionally roasted sesame seeds. The HMF content was not observed to form at levels hazardous to health.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 12(s2): 2272-2281, 2024

Sıcak hava fritözü ile susam kavurma koşullarının optimizasyonu ve konvansiyonel kavurma ile özelliklerinin karşılaştırılması

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Araştırma Makalesi</i></p> <p>Geliş : 18.07.2024 Kabul : 31.07.2024</p> <p>Anahtar Kelimeler: Susam Kavurma optimizasyonu Sıcak hava fritözü Yağ asidi kompozisyonu HMF</p>	<p>Tahin üretiminde en önemli aşama susamın fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkilediği için kavurmadır. Bu çalışmada tahin üretiminde kullanılan kabuksuz susam tohumlarının sıcak hava fritözünde optimum kavurma koşullarının belirlenmesi ve özelliklerinin konvansiyonel yöntemle karşılaştırılması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında kabuğu soyulmuş susam tohumları farklı sıcaklık (160°C, 180°C ve 200°C) ve sürelerde (15-70 dakika) sıcak hava fritözünün haznesine 0,8 gr/cm³ olacak şekilde yayılarak kavurulmuştur. Kavurma işlemindeki sıcaklık ve süre parametreleri yanıt yüzey yöntemi kullanılarak optimize edilmiştir. Kavurulmuş örneklerin ΔE (toplam renk değişimi) ve su aktivitesi verilerine göre sıcak hava fritözünün optimum çalışma sıcaklığı ve süresi 181,1°C ve 36,7 dk olarak belirlenmiştir. Sıcak hava fritözünde kavurma neticesinde konvansiyonel kavurmaya göre yağ verimi %50'den %60'a çıkmıştır. En düşük peroksit değeri 1,69 meq O₂/kg ile 180°C de 35 dk da sıcak hava fritözünde tespit edilmiştir. FTIR sonuçları da sıcak hava fritözü ile kavurulmuş susamların oksidasyona karşı daha dayanıklı olduğunu desteklemiştir. Sıcak hava fritözü ile 5 kat daha kısa sürede kavruan susamların konvansiyonel kavurmaya göre asitlik değerleri ve yağ asidi kompozisyonları benzer bulunmuştur. HMF içeriğinde ise sağlık açısından riskli seviyede bir oluşum gözlenmemiştir.</p>

^a msargun@selcuk.edu.tr

^b <https://orcid.org/0000-0001-8209-3164>

^a abdullah.kurt@selcuk.edu.tr

^b <https://orcid.org/0000-0003-1452-3278>



Giriş

Susam bitkisi (*Sesamum indicum* L.), tohumları %45-60 yağ içeriği ile dünyada kültüre alınarak yetiştirilen ilk yağlı tohum bitkisidir (Kaplan, 2022; Şahin, 2014). Susam, bitkisel protein ve doymamış yağ asitlerince zengin olup, vitamin, mineral ve lif açısından değerli bir kaynaktır. Susam küresel ölçekte çoğunlukla Afrika ve Asya'da yetiştirilmektedir. Dünyadaki toplam susam üretiminin yaklaşık %95,9'u bu kıtalarda üretilmektedir. Dünya susam üretiminde ilk üç sırada Sudan, Myanmar, Tanzanya yer almaktadır (Lukurugu ve ark., 2023; Rahman ve ark., 2020; Zebib ve ark., 2015). Kabuğu soyulmuş ve kavrulmuş susamın öğütülmesi ile başka herhangi bir bileşen eklenmeden veya çıkarılmadan tahin elde edilir (Abu-Jdayil ve ark., 2002). Kavurma, fiziksel ve kimyasal özellikleri etkilediği için tahin üretiminde en önemli aşamadır. Susam tohumları genellikle 130-210°C aralığında taşınım, iletim veya radyasyon ısı transfer mekanizmaları ile kavrulur (Jin ve ark., 2022; Kahyaoglu ve Kaya, 2006). Yüksek miktardaki lipit (ağırlıkça %60) ve çoklu doymamış esansiyel yağ asidi, protein (ağırlıkça %25), karbonhidrat (ağırlıkça %6,4-9) yanında niasin, tiamin gibi vitaminler, kalsiyum, fosfor, çinko, selenyum ve demir gibi bazı mineraller içermesi nedeniyle tahinin besin değeri yüksektir (Abu-Jdayil ve ark., 2002; Gharby ve ark., 2017; Pellet ve Shadarevian, 1970; Sawaya ve ark., 1985). Tahin üretiminde kullanılacak susamın kavrulması esnasında 180°C gibi yüksek sıcaklıklara çıkıldığından Maillard reaksiyon ürünleri oluşmaktadır. Ayrıca kavrulmuş susam tohumlarının uçucu yağ asidi profilinde ham susama kıyasla duyuşsal özellikleri zenginleştiren önemli değişiklikler olmaktadır (Abib ve ark., 2023). Kavurma işlemi susam tohumlarının doku, sertlik ve renk gibi fiziksel özelliklerini etkiler ve tohumlar daha kırılğan, hassas ve gevrek hale gelir (Kahyaoglu ve Kaya, 2006). Kavurma, susam tohumlarının a^* değerini, antioksidan aktivitesini, p -anisidin ve peroksit değerlerini değişken oranlarda artırırken, L^* değerlerini, su miktarını ve linolenik asit içeriğini azaltmaktadır (Mohamed Ahmed ve ark., 2021). Ayrıca kavurma işlemi ile sıcaklığa bağlı olarak 5-hidroksimetilfurfural (HMF) ve akrilamid oluşumu gözlenebilmektedir (Berk ve ark., 2020). Kavurma işlemlerinde, akrilamid miktarı zamanla artmakta ve sıcaklığın akrilamid oluşumu üzerinde zamana göre çok daha güçlü bir etkiye sahip olduğu bildirilmektedir (Amrein ve ark., 2005). Akrilamid, 2A grubunda kanserojen olarak sınıflandırılmıştır ve sağlık açısından riskleri bulunabilmektedir (Sarion ve ark., 2021). HMF'nin antikarsinogenik, antioksidan, anti-inflamatuar ve anti-alerjen gibi olumlu etkilerinin yanında öngörülen sınırın ötesinde tüketilmesi insanlar için sitotoksiktir ve üst solunum yolu, göz, cilt vb. mukoza zarlarını tahriş edebilmektedir (Choudhary ve ark., 2021; Pastoriza de la Cueva ve ark., 2017). Ayrıca furan, polisiklik aromatik hidrokarbonlar ve akrilamid gibi toksinlerin oluşumundan da HMF sorumlu olabilmektedir (Anese ve Suman, 2013).

Geleneksel kavurma yöntemlerinin dezavantajlarını azaltmak için önerilen alternatif bir yöntem sıcak hava fritözüdür (air fryer). Bu sistem, esas olarak malzemenin etrafındaki sıcak havayı kullanarak çeşitli kızartılmış ürünler üretmeyi amaçlayan havada kızartma işlemidir. Bu teknik, sıcak havadaki yağ damlacıklarından oluşan ince

bir sis ile cihazın haznesi içindeki ürün arasında doğrudan temas yoluyla etki eder. Isı transferi son derece yüksektir ve ürün içerisinde eşit şekilde dağıtılır, bu da kalitedeki farklılıkları en aza indirir (Shaker, 2014; Teruel ve ark., 2015; Zaghi ve ark., 2019).

Tahin üreten firmalar susam kavurma işlemini çift cidarlı ekipmanlar içerisinde kızgın buhar veya yağ kullanarak 3 saat gibi uzun bir sürede yapmaktadırlar. Bu çalışmada söz konusu konvansiyonel yöntem alternatif olarak kavurma işlemi, sistemin direk kendi ürettiği sıcak hava ile ısı transfer katsayısı daha yüksek şartlarda çalışan sıcak hava fritözü aracılığıyla gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Böylelikle tahin işleme sektöründe kullanımı daha kolay bir yöntem olabilmesi için sıcaklık-süre koşullarının iyileştirildiği şartlarda susam kavurma potansiyelinin incelenmesi hedeflenmiştir.

Materyal ve Yöntem

Materyal

Araştırmada kullanılan susam, Etiyopya menşeli olup Konya ili Akşehir ilçesinde faaliyet gösteren Ak-Hel Helva Tahin firmasından temin edilmiştir. Susam taneleri işletmede, suda bekletme, kabuk soyma, yıkama ve santrifüj ön işlemlerinden geçirilerek kavurma aşamasına hazır hale getirilmiştir. Tahin üretimi için gerekli ön işlemleri tamamlanmış ve kavurma aşamasına ulaşmış susam numunesi örnek olarak alınarak laboratuvarında işleme alınmıştır.

Yöntem

Sıcak hava fritözü ile kavurma işlemi

Kavurma işleminde, sıcaklık ve zaman kontrollü sıcak hava fritözü kullanılmıştır (Philips HD9252/90 Essential Airfryer). Her bir sıcaklık süre normu için 200 gr susam örneği sıcak hava sirkülasyonuna uygun 250 cm³ hacmindeki teflon elek içerisinde kavrulmuştur. Kavurma işlemi 3 farklı sıcaklık ve süre olmak üzere toplam 9 farklı noktada yapılmıştır (200°C'de 15-20-25 dk, 180°C'de 25-30-35 dk, 160°C'de 50-60-70 dk). Ayrıca kontrol örnek olarak, fabrikada konvansiyonel yöntemle kavruşan (180°C'de 3 saat) susam numunesine çalışmada yer verilmiştir. Fabrikada susamın kavurma işlemi odun ateşi veya doğalgaz ile ısıtılmış kızgın yağın veya buharın etrafından geçirildiği, cidarlı susam kavurma kornigi içerisinde gerçekleştirilmektedir. Kavrulmamış susam ile toplam 11 örneğin renk ve su aktivitesi analizleri yapılmıştır (Çizelge 1). Kontrol örneğinin, ΔE değerine (kavrulmamış susama göre hesaplanan) en yakın ve su aktivitesi değerinin en düşük olduğu koşullar için yanıt yüzey yöntemi ile optimizasyon yapılmıştır. Optimum koşullarda kavruşan susam, konvansiyonel yöntem ile kavruşan susam ve kavrulmamış susam örneklerinin kimyasal analiz sonuçlarının karşılaştırması yapılmıştır.

Renk Analizi

Susam örneklerinin renk ölçümleri CR400 kolorimetre (Minolta, Osaka, Japonya) cihazı kullanılmıştır. Renk parametreleri olan L^* (açıklık-koyuluk, 100:beyaz, 0:siyah), a^* (+:kırmızı (+100), -:yeşil (-80), 0:gri) ve b^* (+:sarı (+70), -:mavi (-80), 0:gri) değerleri 4 farklı noktadan ölçüm yapılarak belirlenmiştir. Ayrıca

kavrulmamış susam örneğine kıyasla toplam renk değişimi (ΔE) aşağıda verilen denklige göre hesaplanmıştır:

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

Su aktivitesi (a_w) analizi

Susam örneklerinin su aktivitesi (a_w) değerleri, su aktivitesi ölçüm cihazıyla (Aqualab 4TE, Münih, Almanya) 20°C'de belirlenmiştir.

Ham yağ

Susam örneklerinde ham yağ tayini için susam numunesi 5-10 gr aralığında tartılarak (M, gr), susuz Na₂SO₄ ile ekstraksiyon kartuşu içerisinde karıştırılmıştır. Soxhlet yağ ekstraksiyonu sisteminde, hegzan ile çözücü ekstraksiyonu sonrasında, kartuş içeriği tekrar öğütülerek ekstraksiyon tekrarlanmıştır. Ekstraksiyon sonunda, darası bilinen balon içerisindeki çözücü, ısı ile uzaklaştırılarak etüvde sabit ağırlığa getirilerek son tartım alınmıştır. Ham yağ oranı yüzde olarak aşağıda verilen denklige göre hesaplanmıştır:

$$\frac{\text{Son Tartım} - \text{Dara}}{M(\text{gr})} \times 100$$

Serbest yağ asitliği

Susam örneklerinin serbest yağ asidi içeriği TS EN ISO 660 yöntemine göre belirlenmiştir. 10 gr ekstrakt 100 ml çözücü (%95 etanol: dietileter v/v) ile karıştırılmıştır. Karışıma 1 ml fenolftalein eklenerek 0.5 N KOH ile titrasyon yapılmıştır. Oleik asit cinsinden hesaplama aşağıda verilen denklige göre yapılmıştır.

$$\frac{\text{Harcanan ml KOH} \times 0,5N \times 282}{M(\text{gr}) \times 10}$$

Peroksit Tayini

Susam örneklerinin peroksit sayısı TS EN ISO 3960 yöntemine göre belirlenmiştir. 10 gr ekstrakt içerisine 10 ml kloroform ve 15 ml asetik asit ilave edilip karıştırılmıştır. 0,5 ml %30'luk KI eklenerek 3 dk karanlıkta bekletilmiştir. 1 mL nişasta çözeltisi eklenerek 0.1 N sodyum tiyosülfat ile titrasyon yapılmıştır. Peroksit içeriği meq O₂/kg olarak aşağıda verilen denklige göre hesaplanmıştır (Neme ve ark., 2023).

$$\frac{(\text{Sarfiyat} - \text{Kör}) \times 0,1 \times 1000}{M(\text{gr})}$$

Yağ asidi kompozisyonu

Susam örneklerinin yağ asidi bileşimleri Arslan ve ark. (2017)'nin yöntemine göre GC MS-FID kullanılarak belirlenmiştir. Analiz, bir FID dedektörü, GC kolonu (RT-2560 100 m × 0,25 mm × 0,25 µm), giriş sıcaklığı 220°C, dedektör sıcaklığı 280°C ve otomatik örnekleyici ile donatılmış Shimadzu GCMS-QP2020 sisteminde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar toplam yağ asitlerinin ağırlık/ağırlık (%) olarak ifade edilmiştir.

HMF

HMF standart yöntemle belirlenmiştir (AOAC 980.23). Yaklaşık 10 gr örnek homojen hale getirilerek su ile karıştırılarak 0,45 µm'lik membran filtreden süzümüştür. UV dedektör, degasser ve gradient pompa, sıcaklık

kontrollü fırın ve bir otomatik örnekleyici ile birleştirilmiş Waters Alliance sistemi ile HMF içeriği ppm (milyonda bir) olarak analiz edilmiştir. Kromotografik ayırım RP-18 3 µm 4,6 × 150 mm kolon ile yapılmıştır. Tespit dalga boyu 285 nm'ye ayarlanmıştır.

Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)

Susam örneklerinin FTIR spektrumları ATR-FTIR (Bruker Alpha II, Ettlingen, Germany) cihazı ile belirlenmiştir. Ölçümün yapılacağı dalga boyu aralığı 4000-650 cm⁻¹'dir. Spektrum datalarının düzeltilmesi (Data Tune-up) cihaza ait yazılım ile yapılmıştır.

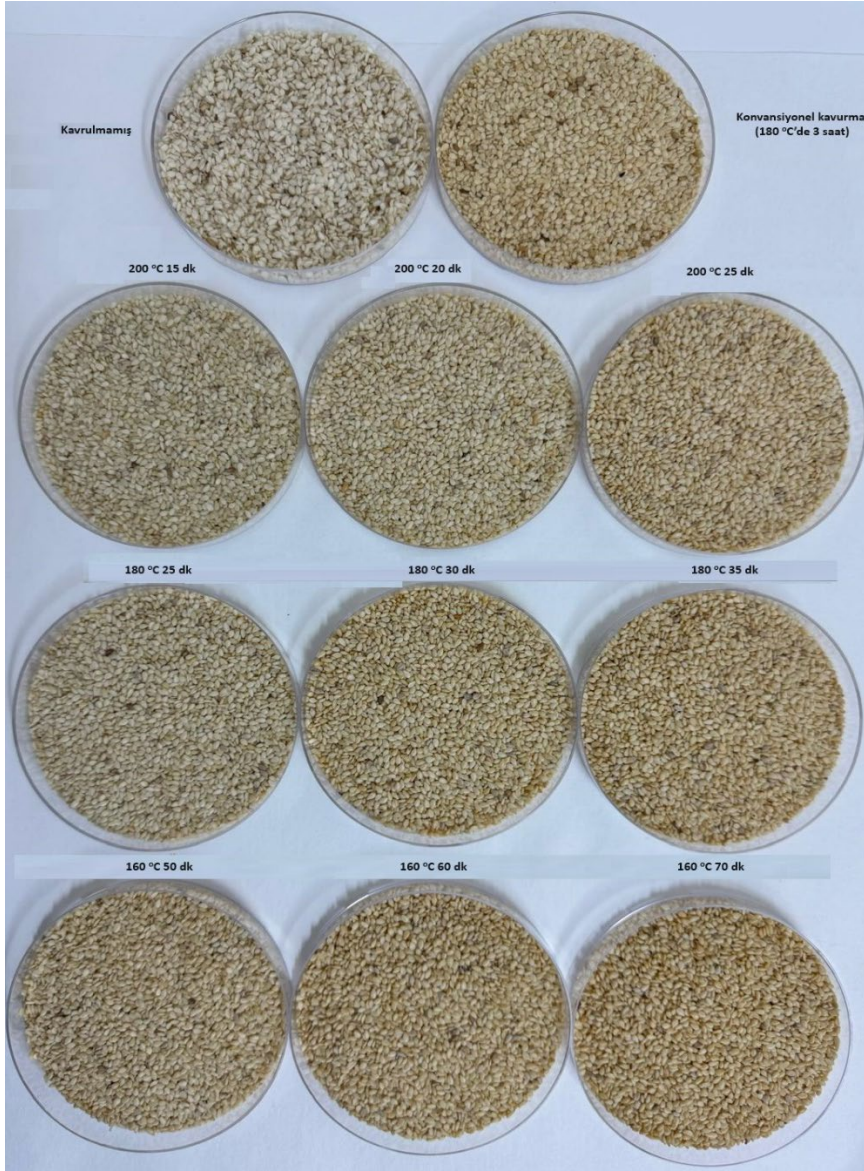
İstatistiksel Analizler

Optimizasyon ve istatistiksel analizler için Statgraphics-19 (STCC, Inc. ABD) programı kullanılmıştır. Yapılan ön deneme sonuçlarına göre kullanıcı tanımlaması kapsamında belirlenen 3 farklı sıcaklık ve 3 farklı süre koşullarında optimizasyon için susamlar kavrulmuştur. Optimizasyonda renk için konvansiyonel ürün değerleri hedef seçilirken su aktivitesi değeri de minimize edilmiştir. Analizler her örnek için iki tekrar olarak yapılarak aritmetik ortalamaları ve standart sapmaları (±) hesaplanmıştır. Ortalamalar, varyans analizi (ANOVA) yoluyla %5 anlamlılık düzeyinde Duncan testi kullanılarak karşılaştırılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Görsel özellikler

Farklı sıcaklık ve süre koşullarında kavruan susamların görsel özellikleri Şekil 1'de sunulmuştur. Görsel özellikler tüketici tercihini etkileyen bir parametredir. Tahin üretiminde ise kavurma işlemi, susamın mekanik işleme tahine dönüşüm prosesine ne derece hazır olduğunu belirlemede ve tahinde arzu edilen aromatik karakterin oluşmasında önemlidir. Bu kalite parametrelerinin belirlenmesinde kavurma aşamasında ortaya çıkan esmerleşme ve karamelizasyon reaksiyonlarına bağlı olarak kahverengi pigmentlerin artışı belirleyici rol oynamaktadır (Saklar ve ark., 2001). Koyulaşma ile birlikte susam tanelerinin parlaklaşması da beklenen bir görsel gelişimdir (Kahyaoglu ve Kaya, 2006). Görsel özelliklerdeki bu değişimler susam yapısından uzaklaştırılan nem ile su aktivitesindeki düşüş ile de ilişkilendirilmektedir. Şekil 1'de görüldüğü gibi kavurma işleminde artan sıcaklık ve süre ile, kavrulmamış nemli susamların renklerinin koyulaştığı ve topaklaşmış haldeki susam tanelerinin ayrılarak işlenebilir forma ulaştığı belirlenmiştir. Sıcak hava fritözü ile kavruan susam tanelerinin görsel özelliklerinin, konvansiyonel kavurma ile benzer özellikte olabileceği görülmüştür. 160°C'de 60 dk sonrasında, 180°C'de 30 dk sonrasında ve 200°C'de ise 25 dk sonrasında konvansiyonel kavurmaya benzer görsel özelliklere ulaşılmıştır. Bir çalışmada, sıcak hava fırınında artan kavurma sıcaklığı (120-180°C) ve süresinin (10-30 dk) bir fonksiyonu olarak susam tohumlarının görsel renginin, soluk, açık sarı, sarı, açık kahverengi ve koyu kahverengi şeklinde değişim trendi sergilediği belirlenmiş ve bu değişimlerin Maillard ve karamelizasyon reaksiyonları ile ilgili olduğu ifade edilmiştir (He ve ark., 2023).



Şekil 1. Farklı kavurma sıcaklıklarında susam tanelerinin görüntüleri
Figure 1. Images of sesame seeds at different roasting temperatures

Sıcak Hava Fritözü ile Yapılan Kavurma İşleminin Optimizasyonu

Örneklerin Renk ve Su Aktivitesi Değerleri

Yanıt yüzey yönteminde (Response Surface Methodology) çalışılan parametrelere ait renk ve su aktivitesi değerleri Çizelge 1'de verilmiştir. Değerler incelendiğinde kavurma işlemi ile susam tohumlarının kavrulmamış örneklere göre L^* değerinin azaldığı, a^* ve b^* değerlerinin ise arttığı görülmektedir. Özalp (2019) farklı sürelerde susamın kabuklu olarak kavrulması üzerine yaptığı çalışmasında kavurma işleminin susam yağının L^* değerini azalttığını, a^* ve b^* değerlerini ise artırdığını tespit etmiştir. Konvansiyonel yöntemle kavru lan ürünün kavrulmamış ürüne göre renk farklılığını gösteren ΔE değeri 11,51 olarak hesaplanmıştır. Bu değere en yakın ΔE değeri 160°C'de 60 dk sıcak hava fritözü ile kavru lan susamdan elde edilmiştir. Durmuş ve Mercan (2019) hava sirkülasyonlu fırında 1-60 dk arası farklı kavru lma sürelerinde susamların ΔE değerlerinin en fazla 60 dakikada olmak üzere 2-15 arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Mikrodalga yöntemi ile yapılan kavurma

işlemlerinde ise a^* değeri daha fazla artmakta ve ΔE değerleri 40-50 gibi yüksek değerler çıkabilmektedir (Isam A Mohamed Ahmed ve ark., 2020).

Kavru lan susamların su aktivitesi değerleri 0,09 ile 0,40 arasında değişmiştir. Optimizasyonda su aktivite değeri minimize edilmiştir. Durmuş ve Mercan (2019) farklı kavurma yöntemleri uyguladıkları susamların su aktivitesi değerlerinin 0,1-0,2 civarında olduğunu bildirmişlerdir.

Optimizasyon

Sıcak hava fritözü ile yapılan kavurma işlemine ait yanıt yüzey yöntemi kullanılarak yapılan optimizasyon sonuçları Şekil 2 ve Çizelge 2'de sunulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde 'desirability' değeri en yüksek çalışma koşullarının 160°C'de 60 dk ve 180°C'de 35 dk olduğu görülmektedir. Değerler hedef ΔE ve minimum su aktivitesi açısından optimize edildiğinde optimum sıcaklık ve süre 181,1°C ve 36,7 dk olarak bulunmuştur. İleriki analizlerde optimum bulunan 160°C'de 60 dk ve 180°C'de 35 dk kavurma işlemlerinden elde edilen susam numuneleri kullanılmıştır.

Çizelge 1. Optimizasyon çalışmasında kullanılan parametrelere ait renk ve su aktivitesi değerleri

Table 1. Color and water activity values of the parameters studied in the optimization study

Örnek	L*	a*	b*	ΔE	Su Aktivitesi
Kavrulmamış	76,25±0,74	0,31±0,13	19,06±0,24	-	0,99±0,01
KK	69,79±1,74	2,73±0,41	28,26±1,20	11,51	0,14±0,02
Sıcak Hava Fritözü ile Kavurma					
160°C 50 dk	73,17±0,37	2,18±0,24	26,30±1,18	8,10	0,10±0,01
160°C 60 dk	68,23±1,84	3,12±0,22	27,12±0,60	11,72	0,12±0,02
160°C 70 dk	68,37±1,07	3,41±0,54	28,79±0,65	12,90	0,11±0,02
180°C 25 dk	70,38±1,23	1,06±0,32	21,88±1,24	6,55	0,13±0,01
180°C 30 dk	69,08±1,46	2,51±0,29	26,06±1,06	10,26	0,13±0,01
180°C 35 dk	70,49±1,23	2,54±0,45	27,03±1,10	10,08	0,09±0,01
200°C 15 dk	70,94±3,51	0,75±0,39	22,78±0,92	6,50	0,40±0,02
200°C 20 dk	73,16±2,42	1,59±0,37	24,88±0,87	6,71	0,14±0,01
200°C 25 dk	72,22±0,90	2,52±0,35	26,45±0,78	8,71	0,11±0,01

KK: Konvansiyonel Kavurma (180°C 3 saat)

Çizelge 2. Sıcak hava fritözü ile kavurmada sıcaklık ve sürenin ΔE ve su aktivitesi değerleri açısından optimizasyonuna ait değerler

Table 2. Optimization values of temperature and time in air fryer roasting in terms of ΔE and water activity values

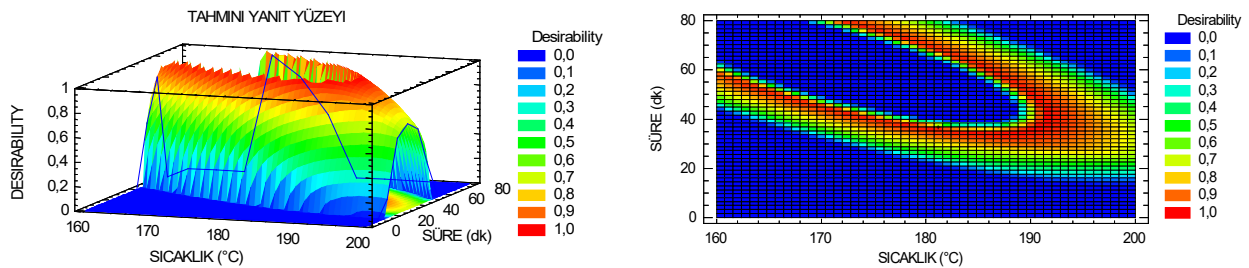
	Desirability	Desirability	Ağırlıklar	Ağırlıklar	Etki	
Yanıt	En düşük	En yüksek	Hedef	Birinci	İkinci	
ΔE	6,0	12,0	11,508	1,0	1,0	3,0
Su aktivitesi	0,0937	0,4005	Minimize	1,0		3,0

Desirability Değerleri

Koşullar	ΔE	Su aktivitesi	Tahmin Edilen Desirability	Gözlemlenen Desirability
160°C 50 dk	8,096	0,099	0,641	0,611
160°C 60 dk	11,718	0,119	0,934	0,725
160°C 70 dk	12,904	0,105	0,0	0,0
180°C 25 dk	6,553	0,129	0,379	0,298
180°C 30 dk	10,264	0,125	0,716	0,833
180°C 35 dk	10,081	0,094	0,937	0,861
200°C 15 dk	6,502	0,400	0,081	0,0
200°C 20 dk	6,714	0,138	0,393	0,333
200°C 25 dk	8,705	0,105	0,639	0,687

Optimizasyon

Faktör	En Düşük	En Yüksek	Optimum
Sıcaklık (°C)	160,0	200,0	181,144
Süre (dk)	15,0	70,0	36,6894



Şekil 2. Sıcak hava fritözü ile kavurmada sıcaklık ve sürenin susamın ΔE ve su aktivitesi değerleri açısından optimizasyonu

Figure 2. Optimization of temperature and time in air fryer roasting in terms of ΔE and water activity values of sesame

Sıcak Hava Fritözü ile Yapılan Kavurma İşleminin Susamın Bazı Kimyasal Özellikleri Üzerine Etkileri

Kavurmanın amacı, yağlı tohumların mikro yapısını, fiziksel durumunu veya kimyasal bileşimini sıcaklık ve nem yoluyla değiştirmek, dolayısıyla yağlı tohumların hücre hasarını, yağ birikimini ve enzimatik inaktivasyonunu teşvik etmektir. Bu uygulama, sıkma işleminde yağ verimini artırmaktadır. Aynı zamanda, indirgeyici şekerlerin serbest amino asitlerle Maillard

reaksiyonu, susam yağının lezzetini zenginleştirmekle kalmaz, aynı zamanda yüksek sıcaklıkta kavurma sırasında antioksidan aktiviteyi de geliştirir. Ancak uygunsuz veya aşırı yüksek kavurma sıcaklıkları susam proteinine ciddi zarar verecek ve susam kekinin uygulama değerini azaltacaktır (Bi, 2005; Ji ve ark., 2019). Çalışmamızdaki kavurma işleminin susam tohumlarının ham yağ, serbest yağ asitliği, peroksit ve HMF değerleri üzerine etkileri Çizelge 3'de sunulmuştur.

Çizelge 3. Kavrurma işleminin susam tohumlarının bazı kimyasal özellikleri üzerine etkisi

Table 3. Effect of roasting on some chemical properties of sesame seeds

Örnek	Ham Yağ (%)	Asitlik (oleik asit cinsinden)	Peroksit (meq O ₂ /kg)	HMF (ppm)
Kavrulmamış	30,4±7,2 ^a	2,03±0,24 ^b	11,25±0,82 ^c	0,36±0,03 ^a
Konvansiyonel Kavrurma (180°C 3 saat)	50,4±2,0 ^b	0,38±0,05 ^a	5,98±0,10 ^b	0,67±0,02 ^a
Sıcak Hava Fritözü 160°C 60 dk	60,8±1,0 ^c	0,28±0,01 ^a	10,96±0,41 ^c	3,80±0,01 ^c
Sıcak Hava Fritözü 180°C 35 dk	60,7±0,5 ^c	0,27±0,02 ^a	1,69±0,04 ^a	2,79±0,23 ^b

Ortalama ± Standart Sapma (n = 2). Aynı sütunda yer alan harfler (a-c) değerler arasındaki istatistiksel olarak anlamlı farkları göstermektedir.

Ham Yağ Miktarının Belirlenmesi

Susam örneklerinin ham yağ verimleri sıcak hava fritözü ile kavrurma (%60)>konvansiyonel kavrurma (%50)>kavrulmamış (%30) şeklinde bulunmuştur (Çizelge 3). Sıcak hava fritözü ile kavrurma önemli ölçüde ham yağ verimini artırmıştır (p<0,05). Kavrulmamış kabuksuz susam örneklerinin ham yağ verimlerinin düşük çıkması, ıslak halde ve %34 su içeriğine sahip olmaları ile ham yağ verimini artıran hücre hasarı meydana gelmemiş olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kaplan (2022) kabuksuz kavrulmuş susamlarda ham yağ değerlerini %58-66 arasında bulurken ön kurutma çıkışı kavrulmamış susamlarda (yaklaşık %30 su içeren) bu değer düşmüş ve %40 civarında bulunmuştur. Özcan ve Akgül (1995), farklı lokasyonlardan sağladıkları 16 susam örneğinde ham yağ içeriklerinin %52,0-57,21 arasında olduğunu bildirmişlerdir. Asghar ve ark. (2014) %5,6 nem içeriğine sahip susamların %48,6 ham yağ içerdiğini bildirmiştir. Akpınar (2017) ise, susam çeşitlerinin ham yağ içeriklerinin %31,4-47,1 arasında değişebileceğini belirtmiştir. Değerler çalışmamızdaki değerler ile benzerlik göstermektedir. Şimşek (2009), mikrodalga ve etüv ile kavrurmada sıcaklık uygulamasının susam tohumlarının ham yağ verimini etkilediğini ve azalttığını bildirmiştir. Çalışmamızda sıcak hava fritözünün mikrodalga ve etüv uygulamasına göre ham yağ verimi açısından daha olumlu etkileri olduğu anlaşılmıştır. Ji ve ark. (2019), sağlığa yararlı bileşimiyle birlikte olumlu duysal niteliklere sahip susam yağının susamın 160°C ile 180°C arasında ve 20-30 dakikayı aşmayacak şekilde kavrulmasıyla elde edilebileceğini belirtmişlerdir.

Serbest Yağ Asitlik Değeri

Susam örneklerinin asitlik değerleri (oleik asit cinsinden) kavrulmamış>konvansiyonel=sıcak hava fritözü şeklinde belirlenmiştir (Çizelge 3). Kavrurma işlemi asitlik değerini azaltmıştır (p<0,05). Özcan (1993) yerli ve ithal susamların serbest yağ asidi değerlerini %1-2 arasında tespit etmiştir. Çalışmamızdaki sonuçlarla benzerlik göstermektedir. Kavrurma işlemi ile asitlik değerlerinin azalması; yağın termal bozunması ve oksidasyonunun alkanlar, aldehitler, alkoller, esterler ve karboksilik asitler gibi çeşitli uçucu bileşikler üretmesinden (Ji ve ark., 2019), yağ asitlerinin Maillard reaksiyonuna katılmasından (Mottram, 1998) ve küçük molekül ağırlığına sahip asitlerin uçmasından (Ji ve ark., 2019) kaynaklanıyor olabilir.

Peroksit Değerleri

Peroksit değeri, depolama sırasında yağın oksidasyonunun izlenmesi açısından önemli bir endekstir ve kritik değeri aştığında gıda zehirlenmesine neden olabilir (Gotoh ve Wada, 2006; Zhang ve ark., 2021). Yemeklik yağlar için peroksit değerinin üst sınırı 10 meq

O₂/kg'dır (Alimentarius, 1992; FAO, 1994). Çalışmamızda kavrulmamış susam ile 160°C 60 dk sıcak hava fritözü ile kavrulmuş susamın değerleri sınırdan yüksek çıkmıştır (Çizelge 3). Sıcak ve nemli koşullar yağ peroksidasyonunu artırmaktadır (Mohammed ve ark., 2018). Hammaddemiz Etiyopya'dan ithal edilmiştir. Etiyopya'nın nemli bölgeleri bulunmaktadır (Gonfa, 1996). Dolayısıyla kavrulmamış susamın peroksit değerinin yüksek çıkması, yetiştiği bölgede veya taşıma, depolama ve işleme sırasında yüksek sıcaklık ve neme maruz kalma ihtimalini düşündürmektedir.

Konvansiyonel kavrurma ve 180°C 35 dk sıcak hava fritözü ile kavrurmada peroksit değerleri önemli miktarda azalmıştır (p<0,05). Peroksit değeri kavrulmamış susamlarda genotip ve yetiştirme şartlarına göre 1-5 meq O₂/kg aralığında değişebilmektedir. Peroksitler kararlı bileşikler değildir ve uygulanan sıcaklığın etkisiyle artış veya azalış gösterebilirler (Isam A Mohamed Ahmed ve ark., 2020). Konvansiyonel ve mikrodalga ile kavrurmada susamın peroksit değerlerinde artışlar gözlemlenebilirken (Isam A Mohamed Ahmed ve ark., 2020; Mohamed Ahmed ve ark., 2021) sıcak hava fritözü ile yaptığımız kavrurmada azalma gözlenmiştir. Bu sonuç, birincil oksidasyon ürünlerinin ikincil oksidasyon ürünlerine dönüşmesi kaynaklı olabilir.

HMF Değerleri

5-Hidroksimetil-2-furfural (HMF), alkol ve aldehit fonksiyonel grupları içeren altı karbonlu bir heterosiklik aldehittir. Nemli koşullar altında HMF hidrolize uğrar. Kavrurma işlemlerinin erken aşamalarında yoğun HMF oluşumu gözlemlenirken ilerleyen aşamalarda HMF miktarları azalmaktadır. Artan sıcaklık ve süre HMF'nin bozunmasına neden olmaktadır (Choudhary ve ark., 2021; Kowalski ve ark., 2013). Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği'ne göre çiçek balında en fazla 40 mg/kg HMF bulunmasına izin verilmektedir (Çaçan ve ark., 2023). Çalışmamızda susam örneklerinin HMF değerleri 0,36 ile 3,80 mg/kg arasında değişmiştir (Çizelge 3). Konvansiyonel yöntemle 3 saat süren kavrurmada HMF değeri kavrulmamış örneğe benzer (p>0,05) çıkmıştır. Konvansiyonel yöntemle göre oldukça kısa süren sıcak hava fritözündeki kavrurma işleminde ise mevzuat sınırlarının altında kalmakla beraber HMF değerlerinde artış gözlenmiştir (p<0,05). Berk ve ark. (2020), 180, 200 ve 220°C'de 10-30 dakika arasında değişen konvansiyonel yöntemle kavrurma süreleri sonunda susam tohumlarında HMF konsantrasyonlarının arttığını ve sırasıyla 75,6 ± 8,5, 60,5 ± 3,4 ve 39,8 ± 1,1 mg/kg olarak belirlendiğini bildirmişlerdir. Ayrıca HMF'nin, yüksek sakkarozlu ancak sınırlı indirgen şeker içeren belirli gıda sistemlerinde (susam kavrulmasında olduğu gibi) akrilamid oluşumunda önemli bir rol oynayan kritik bir ara madde olduğunu belirtmişlerdir. HMF'nin karbonil

grubu, kuru ısıtma koşulları altında asparajini akrilamide dönüştürebilmektedir (Gökmen ve ark., 2012). Dolayısıyla yüksek sıcaklıkta ve uzun süreli kavurma işlemlerinde HMF'nin bozunması ve/veya başka bileşiklere dönüşmesi (furan, polisiklik aromatik hidrokarbonlar ve akrilamid gibi) nedeniyle 3 saat süren konvansiyonel kavurma işlemine ait susamda HMF miktarı kontrol ile benzer çıkmış olabilir.

Yağ asidi kompozisyonu

Sıcak hava fritözü ve konvansiyonel yöntemle kavrulmuş susam örnekleri ile kavrulmamış susamın yağ asidi profili Çizelge 4'de sunulmuştur. Kavurma işleminin genel olarak ham susamın yağ asidi içeriğini indirmediği ve en fazla düşüşün toplam doymuş yağ asidi içeriğinde olduğu görülmüştür. Literatürde mikrodalga ile kavurma işleminin uygulandığı farklı ülkelere ait susam içeriklerinde yağ asidi değişimi çeşitlilik göstermektedir. Türkiye kaynaklı susamlarda önemli bir değişiklik olmazken, Sudan, Hindistan ve Nijerya kaynaklı susamların yağ asidi içeriklerinde düşüşler görülmüştür (Isam A. Mohamed Ahmed ve ark., 2020). Çalışmalarda gözlenen farklılıklar susam tohumlarının genotipi ve kavurma koşullarındaki farklılıklara ve kavurma prosesinin ısı aktarımı sırasındaki mekanizmalara bağlanabilir. Bu çalışmadaki yağ asidi içeriği kompozisyonu ve oranları literatür sonuçları ile örtüşmektedir (Isam A. Mohamed Ahmed ve ark., 2020; Tenyang ve ark., 2017). Kavurma yöntemlerinin susamdaki palmitoleik asit (C16:1), stearik asit (C18:0), linolenik asit (C18:2), araşidik asit (C20:0), cis-11-eikosenoik asit (C20:1), behenik asit (C22:0) ve lignoserik asit (C24:0) içeriğine istatistiksel açıdan bir etkisi olmamıştır ($p>0,05$). Sıcak hava fritözü ile kavurulmuş susamlar, konvansiyonel kavurmaya göre daha yüksek oranda linoleik asit içerirken ($p<0,05$), en yüksek palmitik asit (C16:0), oleik asit (C18:1) ve linoleik asit içeriği (C18:2) 160°C'de 60 dk sıcak hava fritözünde görülmüştür. Kavrulmamış susamda tekli doymamış yağ asitleri daha fazla iken, kavrulmuş susamlarda çoklu doymamış yağ asidi içeriği yüksek bulunmuştur. Kavrulmuş susamlar oleik-linoleik asit grubu olarak kategorize edilmektedir (Tenyang ve ark., 2017). Bu yağ asitlerinin kardiyovasküler hastalıkları önleyici etkiye

sahip olduğu, özellikle linoleik asidin serum kolesterol ve LDL seviyesini düşürdüğü, oleik asidin ise HDL'yi arttırıcı bir role sahip olduğu belirtilmiştir (FAO, 1994; Tenyang ve ark., 2017). Çoklu doymamış yağ asidi oranı en yüksek kavurulmuş susam 160°C'de 60 dk koşullarındaki olup, 180°C'de 35 dk sıcak hava fritözü ile kavurma konvansiyonel kavurma ile benzerdir. Sonuç olarak konvansiyonel yöntemle kıyasla, daha düşük sürede kavurma işleminin gerçekleştiği sıcak hava fritözü uygulamasının, tahin üretiminde kullanılacak susamın yağ asidi içeriğinde genel olarak önemli bir değişikliğe neden olmadığı ve yağ asidi içeriği kaynaklı aroma oluşumunda önemli bir farklılığın ortaya çıkmayacağı söylenilebilir.

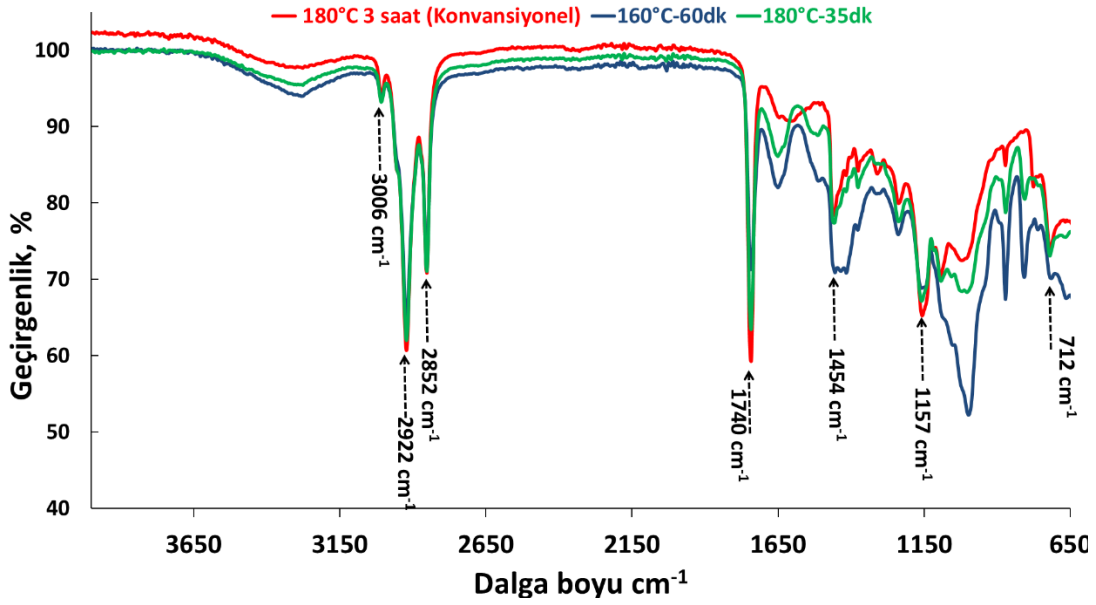
FTIR

Seçilen kavurma yöntemlerinden elde edilen susam tohumlarının FTIR spektrumları Şekil 3'te sunulmuştur. Tüm kavurma yöntemleri için pik şiddetlerinde farklı seviyeler olmasına rağmen genel olarak benzer bant konumları ortaya çıkmıştır, bu sonuç yöntemler arasında benzer bileşenlere işaret etmektedir. 3006 cm^{-1} 'deki pikin şiddeti sıcak hava fritözü ile kavruan susamlarda daha yüksek bulunmuştur, bu pik doymamış yağ asitleri ile ilişkilendirilmektedir (Sundar ve ark., 2022) ve bu çalışmadaki doymamış yağ asidi kompozisyonu sonuçları ile uyumlu bulunmuştur. 2922 ve 2852 cm^{-1} dalga boyundaki pikler sırasıyla CH_2 'nin sırasıyla simetrik ve asimetrik gerilme titreşimlerini göstermekte olup oksidasyonun izlenmesine yardımcı olan ve örneklerin ileri oksidasyon durumuyla ilgili bilgi veren piklerdir (El-Beltagi ve ark., 2022). Bu nedenle yüksek pik şiddeti ile 180°C'de 3 saat kavurma yönteminin oksidasyona daha duyarlı susam ürünlerinin oluşturduğu ve sıcak hava fritözü ile kavurmanın ise indirgeyici rol aldığı söylenebilir. Doymuş aldehit ve karbonil bileşik fonksiyonel grupları ile ilişkilendirilen 1740 cm^{-1} 'de görülen titreşim $\text{C}=\text{O}$ gerilmelerini göstermektedir (Ng ve ark., 2014). 1454 cm^{-1} 'deki pik CH_2 ve CH_3 eğilme titreşimlerine ve 1157 cm^{-1} ise $\text{C}-\text{O}$ gerilme titreşimlerine atfedilmektedir (Vlachos ve ark., 2006). 1157 cm^{-1} ve 1738 cm^{-1} dalga boylarındaki keskin pikler, peroksitlerin ikincil oksidatif ürünlere ayrışması ve yağların peroksit sayısındaki değişikliklerle ilişkilendirilmektedir (Kaur ve ark., 2021).

Çizelge 4. Kavurma işleminin susamın yağ asidi kompozisyonuna (%) etkisi
Table 4. Effect of roasting process on fatty acid composition (%) of sesame

	Kavurulmamış	Konvansiyonel Kavurma (180 °C'de 3 saat)	Sıcak Hava Fritözü (160 °C'de 60 dk)	Sıcak Hava Fritözü (180 °C'de 35 dk)
Palmitik asit (C16:0)	10,34±0,01 ^c	8,82±0,02 ^a	9,12±0,14 ^b	8,87±0,00 ^a
Stearik asit(C18:0)	5,87±0,12 ^b	5,47±0,12 ^a	5,53±0,03 ^a	5,45±0,11 ^a
Araşidik asit(C20:0)	0,62±0,01 ^b	0,50±0,02 ^a	0,46±0,08 ^a	0,51±0,02 ^a
Behenik asit (C22:0)	0,10±0,02 ^a	0,09±0,03 ^a	0,10±0,04 ^a	0,11±0,00 ^a
Lignoserik asit(C24:0)	0,07±0,01 ^a	0,07±0,01 ^a	0,05±0,02 ^a	0,05±0,02 ^a
Σ	17,00±0,17	14,95±0,20	15,26±0,31	14,99±0,15
Palmitoleik asit(C16:1)	0,10±0,00 ^b	0,06±0,02 ^a	0,05±0,01 ^a	0,05±0,01 ^a
Oleik asit(C18:1n9c)	42,57±0,17 ^c	38,94±0,32 ^a	40,14±0,02 ^b	38,73±0,08 ^a
cis-11-eikosenoik asit(C20:1)	0,13±0,00 ^a	0,11±0,01 ^a	0,12±0,02 ^a	0,11±0,00 ^a
Σ	42,80±0,17	39,11±0,35	40,31±0,05	38,89±0,09
Linoleik asit(C18:2n6c)	39,93±0,04 ^a	42,79±0,09 ^b	44,18±0,04 ^d	43,03±0,12 ^c
Linolenik asit (C18:3n6)	0,22±0,00 ^{ab}	0,20±0,01 ^a	0,24±0,03 ^b	0,23±0,00 ^{ab}
Σ	40,15±0,04	42,99±0,35	44,42±0,07	43,26±0,12

Ortalama ± Standart Sapma (n = 2). Aynı satırda yer alan harfler (a-d) değerler arasındaki istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları göstermektedir.



Şekil 3. Kavrulmuş susamların FTIR spektrumları
Figure 3. FTIR spectra of roasted sesame seeds

Bu iki pikin şiddetinin konvansiyonel yöntemler kavrulan susam ürünlerinde yüksek çıkması bu ürünlerin ikincil oksidatif bileşenler bakımından daha yüksek olduğunu göstermektedir. Benzeri sonuçlar siyah ve beyaz susam (*Sesamum indicum L.*) tanelerinin 200°C'de 15 dk uygulanan infrared ve sıcak hava kavurma yöntemi ürünlerinde de görülmüştür (Sundar ve ark., 2022). Sıcak hava fritözü ile kavurmanın, bu ürünlerin oluşumunu da indirgediği sonucu ortaya çıkmaktadır. 710 cm⁻¹'de görülen ve disüstitü olefinlerin cis-HC = CH grubunun düzlem dışı titreşiminin yanı sıra CH₂ titreşimlerinin üst üste binmesi ile ilişkilendirilen pik ise konvansiyonel kavurma ile 180°C'de 35 dk sıcak hava fritözü ile kavrulan susamlar için benzer bulunmuştur (Ozulku ve ark., 2017; Poiana ve ark., 2015).

Sonuç

Bu araştırmada tahin üretiminde kullanılan kabuğu soyulmuş susam tohumlarının kavrulmasında konvansiyonel yöntem alternatif olarak daha kısa sürede kavurma yapabilen sıcak hava fritözünün etkinliği araştırılmış ve optimizasyonu yapılmıştır. Kavurma işlemi sonunda elde edilen ΔE ve su aktivitesi verilerine göre sıcak hava fritözünün optimum sıcaklığı ve süresi 181.1°C ve 36.7 dk olarak belirlenmiştir. Sıcak hava fritözü ile arzu edilen görsel özellikleri sağlayan renk değişim trendi yakalanarak fabrika kavurma koşullarına benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Kavrulmuş susam örneklerinin kimyasal özellikleri kıyaslandığında sıcak hava fritözünden elde edilen ürünlerin ham yağ veriminin konvansiyonel yöntemle göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ürünlerin oksidasyon stabilitesi hakkında bilgi veren peroksit değerleri en düşük sıcak hava fritözünde 180°C de 35 dk kavrulan örneklerde tespit edilmiştir. Sıcak hava fritözü ile daha kısa sürede kavurma işleminin gerçekleştiği susam tohumlarının yağ asidi kompozisyonunda palmitik asit ve linolenik asit artışı haricinde önemli bir değişim olmamıştır. FTIR sonuçlarına göre kavurma işlemi sıcak hava fritözü ile yapıldığında konvansiyonel yöntem ile

benzer kimyasal bileşen kompozisyonunun elde edilmesi son ürün kalite kriterleri açısından önemli bir farklılığın oluşmadığını göstermektedir. Ancak sıcak hava fritözü ile kavurma işlemi, susamın oksidasyona duyarlılığını ve FTIR sonuçlarında da belirlendiği üzere ikincil peroksit bileşenlerinin oluşumunu indirgediği için depolama stabilitesi daha yüksek tahin üretimine katkı sağlanması beklenmektedir. Sonuç olarak sıcak hava fritözü ile kavurma işlemi, hızlı ve enerji maliyeti daha düşük alternatif bir yöntem olarak önerilebilir.

Bilgi

Yazar Katkı Beyanı

Mustafa Şamil ARGUN: Kavramsallaştırma, veri toplama, analizlerin yapılması, verilerin analizi, orijinal taslağın yazılması, inceleme ve düzenleme

Abdullah KURT: Kavramsallaştırma, metodoloji, veri toplama, analizlerin yapılması, verilerin analizi, orijinal taslağın yazılması, inceleme ve düzenleme

Çıkar Çatışması

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Teşekkür

Çalışmamıza verdiği desteklerinden dolayı Konya ili Akşehir ilçesinde faaliyet gösteren Ak-Hel Helva-Tahin firmasına ve Hüseyin KESKİN'e teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Abib, B., Afifi, S. M., El-Din, M. G. S., & Farag, M. A. (2023). How do cultivar origin and stepwise industrial processing impact *Sesamum indicum* seeds' metabolome and its paste and in relation to their antioxidant effects? A case study from the sesame industry. *Food chemistry*, 420, 136134. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136134>
- Abu-Jdayil, B., Al-Malah, K., & Asoud, H. (2002). Rheological characterization of milled sesame (tehneh). *Food Hydrocolloids*, 16(1), 55-61. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(01\)00040-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0268-005X(01)00040-6)

- Akpınar, K. (2017). Susam bitkisinin (Sesamum indicum L.) Kahramanmaraş ekolojisinde agronomik ve teknolojik özelliklerinin incelenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş.
- Alimentarius, J. F. W. C. (1992). *Codex alimentarius*. Food & Agriculture Org.
- Amrein, T. M., Andres, L., Schönbacher, B., Conde-Petit, B., Escher, F., & Amadò, R. (2005). Acrylamide in almond products. *European Food Research and Technology*, 221, 14-18.
- Anese, M., & Suman, M. (2013). Mitigation strategies of furan and 5-hydroxymethylfurfural in food. *Food Research International*, 51(1), 257-264.
- Arslan, F. N., Şapçı, A. N., Duru, F., & Kara, H. (2017). A study on monitoring of frying performance and oxidative stability of cottonseed and palm oil blends in comparison with original oils. *International Journal of Food Properties*, 20(3), 704-717. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1177544>
- Asghar, A., Majeed, M. N., & Akhtar, M. N. (2014). A review on the utilization of sesame as functional food. *American Journal of Food and Nutrition*, 4(1), 21-34.
- Berk, E., Hamzaloğlu, A., & Gökmen, V. (2020). Multiresponse kinetic modelling of 5-hydroxymethylfurfural and acrylamide formation in sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds during roasting. *European Food Research and Technology*, 246, 2399-2410.
- Bi, Y. (2005). Oil chemistry. In: Chemical industry press.
- Choudhary, A., Kumar, V., Kumar, S., Majid, I., Aggarwal, P., & Suri, S. (2021). 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) formation, occurrence and potential health concerns: Recent developments. *Toxin Reviews*, 40(4), 545-561.
- Çaçan, E., Kutlu, M. A., Uçar, R., Özdemir, S., Kökten, K., Mokhtarzadeh, S., & Ekmekçi, M. (2023). Comparison of Honey, Pollen And Propolis Amounts And Honey Quality Obtained From Bee Pasture and Highland. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 23(2), 190-201.
- Durmuş, S., & Mercan, E. (2019). Hava Sirkülasyonlu Fırın, Mikrodalga ve Halojen Lamba ile Kavrmanın Susamda Salmonella İnaktivasyonu ve Bazı Fizikokimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 22, 212-221.
- El-Beltagi, H. S., Maraei, R. W., El-Ansary, A. E., Rezk, A. A., Mansour, A. T., & Aly, A. A. (2022). Characterizing the Bioactive Ingredients in Sesame Oil Affected by Multiple Roasting Methods. *Foods*, 11(15), 2261. <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/15/2261>
- FAO, W. (1994). Fats and oils in human nutrition. Report of a joint expert consultation organised by the Food and Agriculture Organization of the United Nations and the World Health Organization Rome, 19-26.
- Gharby, S., Harhar, H., Bouzoubaa, Z., Asdadi, A., El Yadini, A., & Charrouf, Z. (2017). Chemical characterization and oxidative stability of seeds and oil of sesame grown in Morocco. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(2), 105-111.
- Gonfa, L. (1996). Climate classifications of Ethiopia.
- Gotoh, N., & Wada, S. (2006). The importance of peroxide value in assessing food quality and food safety. *JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 83(5), 473.
- Gökmen, V., Kocadağlı, T., Göncüoğlu, N., & Mogol, B. A. (2012). Model studies on the role of 5-hydroxymethyl-2-furfural in acrylamide formation from asparagine. *Food Chemistry*, 132(1), 168-174.
- He, S., Pan, T., Zhang, Z., Wu, Y., Sun, H., Ma, Y., & Zhang, Y. (2023). Interactive effect of hot air roasting processes on the sensory property, allergenicity, and oil extraction of sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds. *Grain & Oil Science and Technology*, 6(2), 71-81. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gaost.2023.02.001>
- Ji, J., Liu, Y., Shi, L., Wang, N., & Wang, X. (2019). Effect of roasting treatment on the chemical composition of sesame oil. *Lwt*, 101, 191-200. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.008>
- Jin, L., Guo, Q., Zhang, M., Xu, Y.-T., Liu, H.-M., Ma, Y.-X., Wang, X.-D., & Hou, L.-X. (2022). Effects of non-lipid components in roasted sesame seed on physicochemical properties of sesame paste. *Lwt*, 165, 113745. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113745>
- Kahyaoglu, T., & Kaya, S. (2006). Modeling of moisture, color and texture changes in sesame seeds during the conventional roasting. *Journal of Food Engineering*, 75(2), 167-177. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.04.011>
- Kaplan, K. (2022). *Konvansiyonel ve organik tahin üretimi sırasında bazı fizikokimyasal özelliklerdeki değişimlerin incelenmesi* Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi].
- Kaur, A., Singh, B., Kaur, A., Yadav, M. P., & Singh, N. (2021). Impact of intermittent frying on chemical properties, fatty acid composition, and oxidative stability of 10 different vegetable oil blends. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(12), e16015.
- Kowalski, S., Lukaszewicz, M., Duda-Chodak, A., & Zięć, G. (2013). 5-Hydroxymethyl-2-furfural (HMF)–heat-induced formation, occurrence in food and biotransformation-a review. *Polish journal of food and nutrition sciences*, 63(4), 207-225.
- Lukurugu, G. A., Nzunda, J., Kidunda, B. R., Chilala, R., Ngamba, Z. S., Minja, A., & Kapinga, F. A. (2023). Sesame production constraints, variety traits preference in the Southeastern Tanzania: Implication for genetic improvement. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100665. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100665>
- Mohamed Ahmed, I. A., Musa Özcan, M., Uslu, N., Juhaimi, F. A., Osman, M. A., Alqah, H. A., Ghafoor, K., & Babiker, E. E. (2020). Effect of microwave roasting on color, total phenol, antioxidant activity, fatty acid composition, tocopherol, and chemical composition of sesame seed and oils obtained from different countries. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(10), e14807.
- Mohamed Ahmed, I. A., Musa Özcan, M., Uslu, N., Juhaimi, F. A., Osman, M. A., Alqah, H. A. S., Ghafoor, K., & Babiker, E. E. (2020). Effect of microwave roasting on color, total phenol, antioxidant activity, fatty acid composition, tocopherol, and chemical composition of sesame seed and oils obtained from different countries. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(10), e14807. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfpp.14807>
- Mohamed Ahmed, I. A., Uslu, N., Musa Özcan, M., Al Juhaimi, F., Ghafoor, K., Babiker, E. E., Osman, M. A., & Alqah, H. A. S. (2021). Effect of conventional oven roasting treatment on the physicochemical quality attributes of sesame seeds obtained from different locations. *Food Chemistry*, 338, 128109. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128109>
- Mohammed, F., Abdulwali, N., Guillaume, D., Tenyang, N., Ponka, R., Al-Gadabi, K., Bchitou, R., Abdullah, A. H., & Naji, K. M. (2018). Chemical composition and mineralogical residence of sesame oil from plants grown in different Yemeni environments. *Microchemical Journal*, 140, 269-277.
- Mottram, D. S. (1998). Flavour formation in meat and meat products: a review. *Food Chemistry*, 62(4), 415-424.
- Neme, K., Tola, Y. B., Mohammed, A., Tadesse, E., Shaheen, F., Ahmed, S., Jahan, H., Kaiser, S., & Müller, F. (2023). Effect of seed processing treatments on oil quality of Ethiopian sesame varieties. *CyTA - Journal of Food*, 21(1), 31-40. <https://doi.org/10.1080/19476337.2022.2154394>
- Ng, S., Lasekan, O., Muhammad, K., Sulaiman, R., & Hussain, N. (2014). Effect of roasting conditions on color development and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR-ATR) analysis of Malaysian-grown tropical almond nuts (*Terminalia catappa* L.). *Chemistry Central Journal*, 8, 1-11.

- Ozulku, G., Yildirim, R. M., Toker, O. S., Karasu, S., & Durak, M. Z. (2017). Rapid detection of adulteration of cold pressed sesame oil adulterated with hazelnut, canola, and sunflower oils using ATR-FTIR spectroscopy combined with chemometric. *Food Control*, 82, 212-216.
- Özalp, C. (2019). Kabuklu kavrulmuş susam ve tahin yağlarının yağ asidi kompozisyonu ve renk değerleri üzerine kavurma süresinin etkisi.
- Özcan, M. (1993). Susam, susam yağı ve tahinde fiziksel kimyasal analizler ve yağ asitleri bileşiminin belirlenmesi.
- Özcan, M., & Akgül, A. (1995). Susam tohumu ve yağının bazı bileşim özellikleri. *Türk Tarım ve Ormanlık Dergisi*, 19, 59.
- Pastoriza de la Cueva, S., Álvarez, J., Végvári, Á., Montilla-Gómez, J., Cruz-López, O., Delgado-Andrade, C., & Rufián-Henares, J. A. (2017). Relationship between HMF intake and SMF formation in vivo: An animal and human study. *Molecular nutrition & food research*, 61(3), 1600773.
- Pellet, P., & Shadarevian, S. (1970). Food composition tables for use in the Middle East, American University of Beirut. Library of congress catalogue,
- Poiana, M.-A., Alexa, E., Munteanu, M.-F., Gligor, R., Moigradean, D., & Mateescu, C. (2015). Use of ATR-FTIR spectroscopy to detect the changes in extra virgin olive oil by adulteration with soybean oil and high temperature heat treatment. *Open Chemistry*, 13(1), 000010151520150110.
- Rahman, A., Bhattarai, S., Akbar, D., Thomson, M., Trotter, T., Timilsina, S., & Australia, C. (2020). Market analysis of sesame seed. CQUniversity. Report. DOI: <https://doi.org/10.25946/15079245.v1>.
- Saklar, S., Katnas, S., & Ungan, S. (2001). Determination of optimum hazelnut roasting conditions. *International journal of food science & technology*, 36(3), 271-281.
- Sarion, C., Codinã, G. G., & Dabija, A. (2021). Acrylamide in bakery products: A review on health risks, legal regulations and strategies to reduce its formation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(8), 4332.
- Sawaya, W. N., Ayaz, M., Khalil, J. K., & Al-Shalhat, A. F. (1985). Chemical composition and nutritional quality of tehneh (sesame butter). *Food chemistry*, 18(1), 35-45.
- Shaker, M. A. (2014). Air frying a new technique for produce of healthy fried potato strips. *J. Food Nutr. Sci*, 2(4), 200-206.
- Sundar, S., Singh, B., Kaur, A., & Yadav, M. P. (2022). Impact of infrared and dry-air roasting on antioxidant potential, oxidative stability, chemical characteristics, and fatty acid profile of black and white sesame (*Sesamum indicum* L.) oil. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(12), e17252. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfpp.17252>
- Şahin, G. (2014). TÜRKİYE'DE ÜRETİMİ AZALAN ÖNEMLİ BİR YAĞ BİTKİSİ SUSAM. *Itobiad: Journal of the Human & Social Science Researches*, 3(2).
- Şimşek, E. (2009). Farklı kavurma tekniklerinin bazı yağlı tohum yağlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkisi.
- Tenyang, N., Ponka, R., Tiencheu, B., Djikeng, F. T., Azmeera, T., Karuna, M. S. L., Prasad, R. B. N., & Womeni, H. M. (2017). Effects of boiling and roasting on proximate composition, lipid oxidation, fatty acid profile and mineral content of two sesame varieties commercialized and consumed in Far-North Region of Cameroon. *Food Chemistry*, 221, 1308-1316. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.025>
- Teruel, M. d. R., Gordon, M., Linares, M. B., Garrido, M. D., Ahromrit, A., & Niranjan, K. (2015). A comparative study of the characteristics of French fries produced by deep fat frying and air frying. *Journal of Food Science*, 80(2), E349-E358.
- Vlachos, N., Skopelitis, Y., Psaroudaki, M., Konstantinidou, V., Chatzilazarou, A., & Tegou, E. (2006). Applications of Fourier transform-infrared spectroscopy to edible oils. *Analytica chimica acta*, 573, 459-465.
- Zaghi, A. N., Barbalho, S. M., Guiguer, E. L., & Otoboni, A. M. (2019). Frying Process: From Conventional to Air Frying Technology. *Food Reviews International*, 35(8), 763-777. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1600541>
- Zebib, H., Bultosa, G., & Abera, S. (2015). Physico-chemical properties of sesame (*Sesamum indicum* L.) varieties grown in Northern Area, Ethiopia. *Agricultural Sciences*, 6(02), 238.
- Zhang, N., Li, Y., Wen, S., Sun, Y., Chen, J., Gao, Y., Sagymbek, A., & Yu, X. (2021). Analytical methods for determining the peroxide value of edible oils: A mini-review. *Food chemistry*, 358, 129834. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129834>