

SIYAH SARIMSAK SOSLARINDA FENOLİK BİLEŞİKLERİN BİYOERİŞİLEBİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Rukiye TERUT¹ , Elif Ceren KAYA¹ , Merve TOMAŞ² , Senem KAMILOĞLU¹ 

¹Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

²İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Geliş/ Received: 13.05.2026; Kabul/Accepted: 30.09.2026; Online Baskı/Published online: 12.10.2026

ÖZ

Bu çalışmada, siyah sarımsak kullanılarak geliştirilen fonksiyonel soslarda fenolik bileşikler ve antioksidan aktivite gösteren bileşiklerin biyoerişilebilirliği in vitro sindirim modeli ile değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar taze sarımsak bazlı soslarla karşılaştırılmıştır. HPLC-PDA analizi, epikateşin ve gallik asitin sarımsak soslarında tespit edilen ana flavonoid ve fenolik asit olduğunu ortaya koymuştur. Yağı azaltılmış siyah sarımsak sosunda, biyoerişilebilir toplam fenolik madde miktarı 110.3±4.1 mg GAE/100 g olarak belirlenerek diğer formülasyonlara kıyasla %11-24 daha yüksek bulunurken, intestinal sindirim sonrası FRAP değeri de 15.9±2.2 mg TE/100 g ile diğer formülasyonlardan anlamlı düzeyde yük-sek bulunmuştur ($P<0.05$). Kromatografik analiz sonuçları da bu bulguları desteklemiş ve yağı azaltılmış siyah sarımsak sosunda biyoerişilebilir gallik asit ve klorojenik asit miktarları sırasıyla 5011.2±14.5 ve 92.5±6.4 µg/100 g olarak belirlenerek diğer sos örneklerine kıyasla %27-47 daha yüksek bulunmuştur ($P<0.05$). Sonuç olarak, siyah sarımsak kullanımı ve yağ azaltımı, sos matrisinde fenolik bileşiklerin biyoerişilebilirliğini iyileştirmeye yönelik etkili bir formülasyon yaklaşımı olarak değerlendirilebilir.

Anahtar kelimeler: *Allium sativum* L., in vitro sindirim, polifenoller, antioksidan kapasite, HPLC-PDA

EVALUATION OF THE BIOACCESSIBILITY OF PHENOLIC COMPOUNDS IN BLACK GARLIC SAUCES

ABSTRACT

In this study, the bioaccessibility of phenolic compounds and antioxidants in functional sauces developed using black garlic was evaluated using an in vitro digestion model and compared with fresh garlic-based sauces. HPLC-PDA analysis showed that epicatechin and gallic acid were the predominant flavonoid and phenolic acid detected in the garlic sauces, respectively. In the reduced-fat black garlic sauce, bioaccessible total phenolic content was 110.3±4.1 mg GAE/100 g, which was 11-24% higher than those of the other formulations, while the FRAP value after intestinal digestion was also significantly higher, reaching 15.9±2.2 mg TE/100 g ($P<0.05$). Bioaccessible gallic acid and chlorogenic acid contents were 5011.2±14.5 and 92.5±6.4 µg/100 g, respectively, representing 27-47% higher values than those of the other sauces ($P<0.05$). Overall, black garlic use combined with fat reduction may be an effective strategy for improving phenolic bioaccessibility in sauce matrices.

Key words: *Allium sativum* L., in vitro digestion, polyphenols, antioxidant capacity, HPLC-PDA

GİRİŞ

Sarımsak (*Allium sativum* L.), kökeni Asya'ya dayanan ve günümüzde dünya genelinde yaygın olarak tüketilen bir bitkisel gıdadır. Özellikle Akdeniz beslenme modelinin temel bileşenlerinden biri olarak önemli bir rol oynamaktadır. Düzenli sarımsak tüketimi serum kolesterol ve trigliserit düzeylerini düşürerek kardiyovasküler hastalıklar ve metabolik sendrom riskinin azaltılması başta olmak üzere çeşitli sağlık yararlarıyla ilişkilendirilmektedir (Moreno-Ortega vd., 2022). Buna karşın, taze sarımsağın keskin tat ve kokusu duysal kabulü sınırlandırabilmekte ve bazı bireylerde gastrointestinal rahatsızlıklara yol açabilmektedir. Bu doğrultuda, söz konusu olumsuzlukları azaltmak amacıyla sarımsağın farklı formülasyonlarda kullanımına yönelik yaklaşımlar geliştirilmektedir (Ahmed ve Wang, 2021).

Siyah sarımsak, taze sarımsağın belirli bir süre boyunca kontrollü yüksek sıcaklık (60-90 °C) ve nem (%70-90) koşulları altında işlenmesiyle elde edilmektedir. Uygulanan sıcaklık ve işlem süresinin siyah sarımsağın toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan aktivitesi üzerinde belirleyici olabildiği bildirilmiştir (Paulauskienė vd., 2024). Bu süreçte başta Maillard reaksiyonu olmak üzere bir dizi kimyasal reaksiyon gerçekleşmektedir. Söz konusu reaksiyonlar sonucunda taze sarımsağın keskin ve rahatsız edici kokusu önemli ölçüde değişmekte, kendine özgü koyu renkli, elastik ve jel benzeri bir dokuya sahip, hoş ve hafif meyvemsi aromalı siyah sarımsak oluşmaktadır. Siyah sarımsak, taze sarımsağa kıyasla daha güçlü antioksidan özellikler ve daha yüksek serbest radikal giderme kapasitesi sergilemektedir. Bu durum, Maillard reaksiyonu ve fenolik dönüşümler sonucunda artan fenolik bileşik içeriği ile ilişkilendirilmektedir (Sasmaz vd., 2025; Tahir vd., 2022).

Fenolik bileşikler, sebzeler, meyveler, baharatlar, tahıllar, baklagiller ve sert kabuklu yemişler gibi bitkisel kaynaklarda yaygın olarak bulunan ve antioksidan, antimikrobiyal, antikarsinogenik ile antienflamatuvar özellikler sergileyen geniş bir sekonder metabolit grubunu oluşturmaktadır (Zhang vd., 2022). Bu bileşiklerin sağlığı destekleyici etkileri, gastrointestinal sindirim sırasında gıda matrisinden serbest kalarak emilime hazır hale gelen fraksiyonlarını ifade eden biyoerişilebilirlik ile yakından ilişkilidir. Bu bağlamda, gastrointestinal koşulları taklit etmek amacıyla in vitro sindirim modelleri yaygın olarak kullanılmakta olup, bu yöntemler in vivo yaklaşımlara kıyasla hızlı, tekrarlanabilir ve etik açıdan daha uygun bir

alternatif sunmaktadır (Dantas vd., 2023). Literatürde, siyah sarımsakta bulunan fenolik bileşiklerin biyoerişilebilirliğinin in vitro sindirim modeli ile incelendiği bazı çalışmalar mevcut olmakla birlikte (Moreno-Ortega vd., 2020; Wu vd., 2021), bu bileşiklerin gıda matrisi içerisindeki biyoerişilebilirliğini ele alan çalışmaların oldukça sınırlı olduğu görülmektedir (Cao vd., 2025). Fenolik bileşiklerin biyoerişilebilirliği, diyetle alınan diğer besin öğeleriyle etkileşimlerinden etkilenmekte olup, gıda matrisi bu bileşiklerin sindirim sürecindeki davranışında belirleyici bir rol oynamaktadır (Kamiloglu vd., 2021).

Sarımsak sosu, et yemekleri, kızartmalar ve salatalarla birlikte yaygın olarak tüketilmektedir. Benzer emülsifiye sos ürünlerinde yağ içeriğinin azaltılmasına yönelik çeşitli formülasyon çalışmaları bulunmaktadır (Nikzade vd., 2012; Avcı vd., 2023). Bu yaklaşımdan hareketle, mevcut çalışmada standart ve yağ azaltılmış taze ve siyah sarımsak sosları hazırlanmıştır. Ancak, bilindiği kadarıyla literatürde siyah sarımsak soslarındaki fenolik bileşiklerin biyoerişilebilirliğini inceleyen herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu boşluktan hareketle, bu çalışmada siyah sarımsak kullanılarak geliştirilen fonksiyonel standart ve yağ azaltılmış soslarda bulunan fenolik bileşikler ve antioksidanların biyoerişilebilirliğinin in vitro sindirim modeli ile değerlendirilmesi ve elde edilen sonuçların taze sarımsak bazlı soslarla karşılaştırılması amaçlanmıştır. İlaveten, geliştirilen ürünlerin duysal özellikleri panelistler tarafından değerlendirilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Çalışmada kullanılan taze ve siyah sarımsak örnekleri, Kastamonu Taşköprü kökenli olup yerel bir tedarikçiden temin edilmiştir. Siyah sarımsak çalışma kapsamında üretilmemiş, ticari olarak hazırlanmış ürün doğrudan kullanılmıştır. Üreticiden edinilen bilgiye göre ürün, 70 °C'de 15 gün süreyle işlenerek hazırlanmıştır. Soslar, taze veya siyah sarımsak kullanılarak standart ve yağ azaltılmış olmak üzere toplam dört farklı formülasyonda hazırlanmıştır. Formülasyonlarda kullanılan bileşen miktarları, emülsiyon oluşumu, homojenlik ve uygun kıvamın sağlanması amacıyla gerçekleştirilen ön denemeler sonucunda belirlenmiştir. Sarımsak, yumurta, limon suyu ve tuz miktarları tüm formülasyonlarda sabit tutulmuş, yalnızca kullanılan sarımsak türü ve ayçiçek yağı miktarı değiştirilmiştir. Formülasyonlarda kullanılan bileşenler ve miktarları Çizelge

1’de verilmiştir. Sosların hazırlanması sırasında sarımsak, yumurta, limon suyu ve tuz blender kullanılarak karıştırılmış, ardından ayçiçek yağı emülsiyon oluşumunu sağlamak amacıyla karışıma kademeli olarak ilave edilmiştir. Karıştırma işlemine toplam 3 dakika devam edilerek homojen kıvamlı soslar elde edilmiştir. Standart formülasyonlarda 160 g, yağı azaltılmış formülasyonlarda ise 80 g ayçiçek yağı kullanılmıştır. Böylece ilave edilen ayçiçek yağı miktarı standart formülasyona

göre %50 azaltılmıştır. Toplam formülasyon ağırlığı dikkate alındığında, ayçiçek yağının formülasyondaki oranı %69’dan %52’ye düşmüş ve bu değişiklik başlangıçtaki yağ oranı esas alındığında yaklaşık %25’lik bir azalmaya karşılık gelmiştir. Hazırlanan soslar üretim gününde duyuşal değerlendirmeye tabi tutulmuş ve diğer analizler gerçekleştirilinceye kadar -20 °C’de muhafaza edilmiştir.

Çizelge 1. Taze ve siyah sarımsak kullanılarak hazırlanan sosların bileşimleri

Table 1. Composition of sauces prepared using raw and black garlic

Bileşenler (g)	Standart taze sarımsak sosu	Yağı azaltılmış taze sarımsak sosu	Standart siyah sarımsak sosu	Yağı azaltılmış siyah sarımsak sosu
<i>Ingredients (g)</i>	<i>Standard raw garlic sauce</i>	<i>Reduced-fat raw garlic sauce</i>	<i>Standard black garlic sauce</i>	<i>Reduced-fat black garlic sauce</i>
Sarımsak <i>Garlic</i>	5	5	5	5
Yumurta <i>Egg</i>	60	60	60	60
Ayçiçek yağı <i>Sunflower oil</i>	160	80	160	80
Limon suyu <i>Lemon juice</i>	6	6	6	6
Tuz <i>Salt</i>	2	2	2	2
Toplam formülasyon miktarı <i>Total formulation weight</i>	233	153	233	153
Formülasyondaki yağ oranı (%) <i>Proportion of oil in the formulation (%)</i>	69	52	69	52

Duyusal Analiz

Sos örneklerinin duyuşal kabul düzeyleri, Lawless ve Heymann (2010) tarafından açıklanan hedonik değerlendirme yaklaşımı esas alınarak yedi puanlı hedonik test kullanılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirmeye duyuşal analiz konusunda resmi eğitim almamış 9 gönüllü panelist katılmıştır. Test öncesinde panelistlere değerlendirilecek duyuşal özellikler, hedonik skalanın kullanımı ve testin uygulanma biçimi hakkında kısa bir bilgilendirme yapılmıştır. Sos örnekleri üretim gününde, oda sıcaklığında ve eşit miktarlarda plastik kaplar içerisinde

panelistlere sunulmuştur. Numuneler üç basamaklı sayılarla kodlanmış ve olası sunum sırası etkisini azaltmak amacıyla panelistlere rastgele sırayla verilmiştir. Panelistlerden her örnek arasında ağızlarını su ile temizlemeleri istenmiştir. Örnekler görünüm, koku, renk, tekstür ve ağız hissi, tat ve aroma, kıvam ve genel kabul edilebilirlik özellikleri bakımından 1-7 puanlık hedonik skala kullanılarak değerlendirilmiştir. Skaladan alınan 1 puan “hiç beğenmedim”, 4 puan “ne beğendim ne beğenmedim” ve 7 puan “çok beğendim” ifadelerine karşılık gelmektedir.

Fenolik Bileşiklerin Ekstraksiyonu

Fenolik bileşiklerin ekstraksiyonu, literatürde tanımlanan yöntemin modifiye edilmesiyle gerçekleştirilmiştir (Döver vd., 2024). 2 g sos örneği üzerine %0,1 formik asit içeren %75 (v/v) metanol çözeltisinden 5 mL ilave edilmiştir. Elde edilen karışımlar oda sıcaklığında 40 kHz frekans ve 240 W nominal güce sahip ultrasonik banyoda (DZG Science, Almanya) 15 dakika süreyle işleme tabi tutulmuş, ardından 4 °C'de 4500 rpm hızında 10 dakika santrifüjlenmiştir (Sigma 3K30, Almanya). Santrifüj sonrası elde edilen süpernatantlar ayrı tüplere alınmış ve ekstraksiyon işlemi bir kez daha tekrarlanmıştır. Birleştirilen üst fazlar 10 mL'ye tamamlanmış ve analizlere kadar -20 °C'de muhafaza edilmiştir.

In Vitro Sindirim

Fenolik bileşiklerin biyoerişilebilirliğinin belirlenmesi amacıyla, INFOGEST in vitro sindirim modeli esas alınarak standardize edilmiş sindirim protokolü uygulanmıştır (Minekus vd., 2014). Protokol, ilgili kaynakta tanımlandığı şekliyle uygulanmıştır. Örnekler sırasıyla oral, gastrik ve intestinal sindirim aşamalarına tabi tutulmuştur. Oral fazda örnekler simüle tükürük sıvısı ile karıştırılarak 37°C'de 2 dakika inkübe edilmiştir. Gastrik fazda simüle mide sıvısı ve pepsin ilavesinin ardından pH 3.0'e ayarlanmış ve örnekler 37°C'de 2 saat inkübe edilmiştir. İntestinal fazda ise simüle bağırsak sıvısı, pankreatin ve safra eklenerek pH 7.0'ye ayarlanmış ve 37°C'de 2 saat inkübasyon gerçekleştirilmiştir. Analizler sırasında sindirim sıvılarından kaynaklanabilecek olası etkileşimleri kontrol etmek amacıyla, sos örnekleri eklenmeden aynı sindirim prosedürü uygulanarak bir kör örnek hazırlanmıştır. Sindirim sürecinin ardından elde edilen örnekler liyofilizasyon işlemine tabi tutulmuş (Christ Alpha 1-2 LD plus, Almanya) ve analizler gerçekleştirilinceye kadar -20°C'de muhafaza edilmiştir.

Toplam Fenolik Madde (TFM) Tayini

TFM içeriği, Folin-Ciocalteu yöntemi esas alınarak spektrofotometrik olarak belirlenmiştir (Velioglu vd., 1998). Sos ekstraktından 100 µL alınarak 10 kat seyreltilmiş 0,75 mL Folin-Ciocalteu reaktifine karıştırılmış ve karışım oda sıcaklığında 5 dakika bekletilmiştir. Ardından 0,75 mL 60 g/L sodyum karbonat çözeltisi ilave edilmiş ve karışım oda sıcaklığında 90 dakika inkübe edilmiştir. Ölçümler Shimadzu UV-1800 (Japonya) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, sonuçlar

gallik asit standart eğrisi ($R^2 = 0,995$) kullanılarak hesaplanmış ve mg gallik asit eşdeğeri (GAE)/100 g olarak ifade edilmiştir.

Toplam Antioksidan Kapasite (TAK) Tayini

TAK, DPPH (Kumaran ve Karunakaran, 2006) ve FRAP (Benzie ve Strain, 1996) yöntemleri kullanılarak spektrofotometrik olarak belirlenmiştir. DPPH analizi için, 100 µL sos ekstraktı, 2 mL 0,2 mM metanolik DPPH çözeltisi ile karıştırılmış ve karışım 30 dakika boyunca oda sıcaklığında karanlıkta bekletilmiştir. İnkübasyon sonunda absorpsiyon 517 nm'de Shimadzu UV-1800 spektrofotometre (Japonya) kullanılarak ölçülmüştür. FRAP analizi için FRAP reaktifi, 300 mM asetat tamponu (pH 3,6), 40 mM HCl içerisinde hazırlanmış 10 mM 2,4,6-tripiridil-s-triazin (TPTZ) çözeltisi ve 20 mM demir (III) klorür heksahidrat çözeltisinin 10:1:1 (v/v/v) oranında karıştırılmasıyla hazırlanmıştır. Analiz için 100 µL sos ekstraktı, 900 µL taze hazırlanmış FRAP reaktifi ile karıştırılmış ve 4 dakika inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda absorpsiyon 593 nm'de ölçülmüştür. Sonuçlar DPPH ve FRAP analizleri için ayrı ayrı oluşturulan Trolox® standart eğrileri (sırasıyla $R^2 = 0,992$ ve $0,999$) kullanılarak hesaplanmış ve mg Trolox® eşdeğeri (TE)/100 g olarak ifade edilmiştir.

HPLC-PDA ile Fenolik Bileşiklerin Kantifikasyonu

Fenolik bileşiklerin kantifikasyonu, C18 kolonu (250 × 4.6 mm, 5 µm) ile donatılmış bir HPLC-PDA sistemi (Waters e2695, ABD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Kamiloglu, 2019). Örnekler 0,45 µm membran filtreden geçirilerek viallere alınmış ve 10 µL hacminde sisteme enjekte edilmiştir. Mobil faz olarak %0,1 TFA içeren ultra saf su (A) ve %0,1 TFA içeren asetonitril (B) kullanılmıştır. Ayrım, 1 mL/dk akış hızında ve 40 °C kolon sıcaklığında, B fazı için 0 dk %5, 45 dk %35, 47 dk %75, 49 dk %35 ve 50 dk %5 olacak şekilde uygulanan lineer gradyanla gerçekleştirilmiştir. Spektral ölçümler 280, 312 ve 360 nm'de yapılmıştır. Sonuçlar, epikateşin, rutin, kuersetin, gallik asit ve klorojenik asit standart eğrileri ($R^2 = 0,993-0,999$) kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar µg/100 g olarak ifade edilmiştir.

İstatistiksel Analiz

Tüm analizler üç bağımsız tekrar halinde yürütülmüş ve elde edilen veriler ortalama ± standart sapma olarak raporlanmıştır. İstatistiksel değerlendirmeler SPSS yazılımı (ABD) kullanılarak tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile gerçekleştirilmiştir.

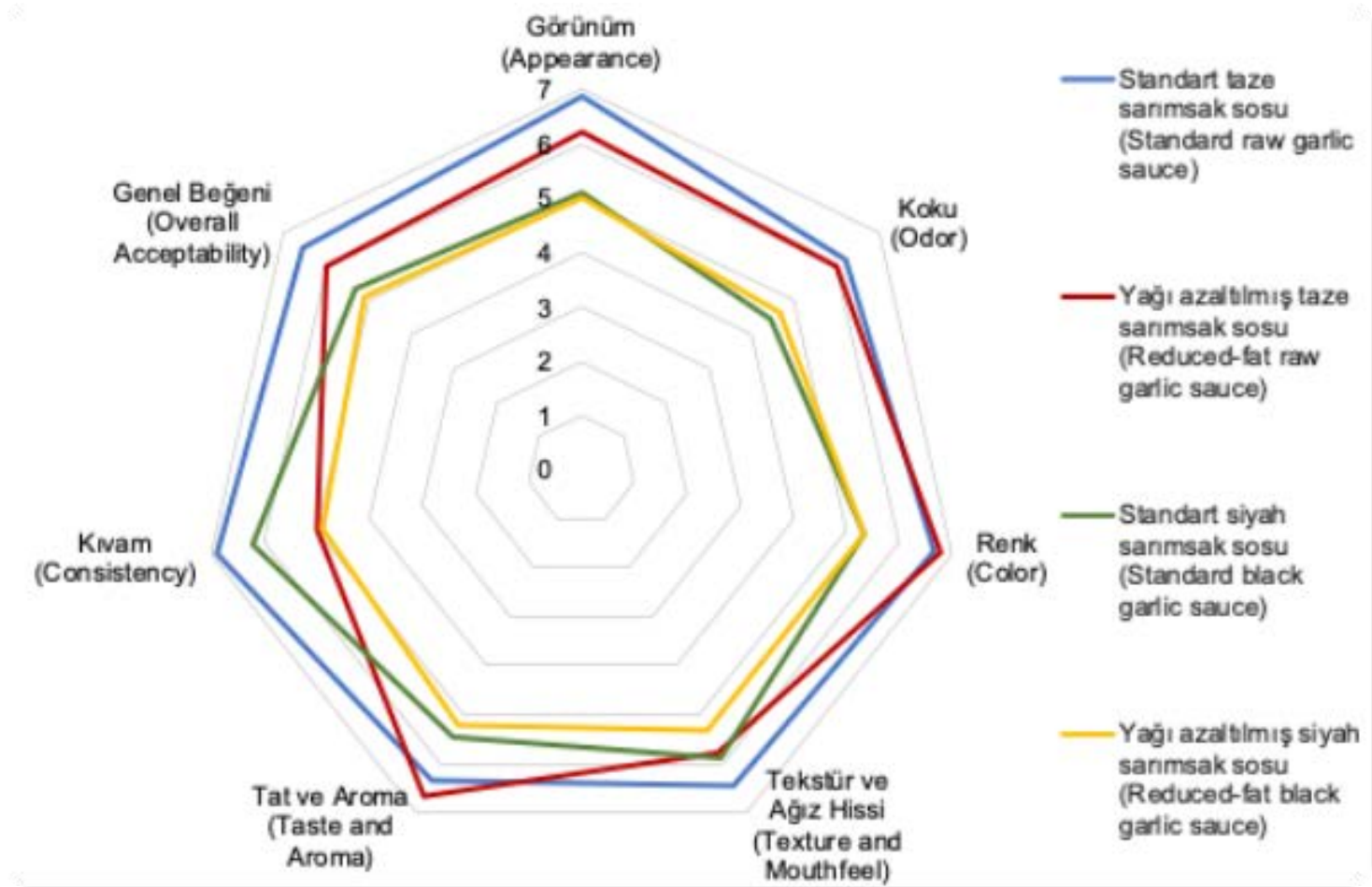
Analizde sos formülasyonu bağımsız değişken, fenolik bileşik miktarları ve antioksidan kapasite ise bağımlı değişkenler olarak değerlendirilmiştir. Gruplar arasındaki yüzde değişimler, referans alınan grubun değeri esas alınarak $[(\text{karşılaştırılan değer} - \text{referans değer}) / \text{referans değer}] \times 100$ formülü ile hesaplanmıştır. Gruplar arasındaki anlamlı farklılıklar Tukey çoklu karşılaştırma testi ile belirlenmiştir ($P < 0.05$).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Duyusal Değerlendirme

Üretilen sarımsak soslarının duysal özellikleri, 9 panelistin katılımıyla görünüm, koku, renk, tekstür ve ağız hissi, tat ve

aroma, kıvam ve genel beğeni olmak üzere toplam 7 parametre üzerinden değerlendirilmiş ve sonuçlar örümcek ağı grafiği ile sunulmuştur (Şekil 1). Yedili hedonik skala kullanılarak yapılan değerlendirmelerde, standart ve yağı azaltılmış taze sarımsak sosları arasında kıvam dışında değerlendirilen duysal özellikler bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir ($P > 0.05$). Kıvam açısından ise standart taze sarımsak sosu (6.9), yağı azaltılmış taze sarımsak sosuna (6.2) kıyasla daha yüksek beğeni puanı almıştır ($P < 0.05$). Siyah sarımsak bazlı soslar değerlendirildiğinde, standart ve yağı azaltılmış formülasyonlar arasında incelenen duysal parametrelerin hiçbirinde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmamıştır ($P > 0.05$).



Şekil 1. Sarımsak soslarına ait duysal analiz sonuçlarının örümcek ağı grafiği

Figure 1. Spider web chart of sensory analysis results for garlic sauces

Şekil 1'deki genel duyusal profil değerlendirildiğinde, taze sarımsak içeren sosların görünüm, koku, renk ve genel beğeni bakımından siyah sarımsak içeren formülasyonlara kıyasla daha yüksek puan alma eğiliminde olduğu görülmüştür. Yağı azaltılmış taze sarımsak sosunun ise tat ve aroma bakımından standart taze sarımsak sosuna benzer bir beğeni göstermesi, yağ miktarındaki azalmanın bu duyusal özellik üzerinde olumsuz bir etki oluşturmadığını düşündürmektedir. Siyah sarımsak içeren soslarda görünüm, koku, tat ve aroma ile genel beğeni puanlarının görece daha düşük olması, siyah sarımsağın kendine özgü renk ve aroma profilinin panelistlerin alışkın olduğu taze sarımsaklı sos profilinden farklı olmasıyla ilişkili olabilir (Kilic-Buyukkurt vd., 2023). Bununla birlikte, bu farklılıkların çoğunun istatistiksel olarak anlamlı olmaması nedeniyle sonuçların eğilim düzeyinde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Toplam Fenolik Madde (TFM)

Sindirim öncesi TFM değerleri standart taze sarımsak sosunda 4.1 mg GAE/100 g iken, yağı azaltılmış taze sarımsak sosunda 7.8 mg GAE/100 g, standart siyah sarımsak sosunda 17.2 mg GAE/100 g ve yağı azaltılmış siyah sarımsak sosunda 24.1 mg GAE/100 g olarak belirlenmiştir. Bu değerler karşılaştırıldığında, siyah sarımsak kullanılarak formüle edilen sosların TFM değerlerinin taze sarımsak içeren soslara kıyasla istatistiksel olarak daha yüksek olduğu görülmüştür (%120-488) (Çizelge 2)

($P<0.05$). Bu eğilim, siyah sarımsağın taze sarımsağa kıyasla daha yüksek TFM içeriğine sahip olduğunu bildiren çalışmalarla genel olarak uyumludur (Matsuse vd., 2024; Tahir vd., 2022). Bununla birlikte, söz konusu çalışmalar doğrudan sos matrisi üzerinde yürütülmediğinden, karşılaştırma yalnızca siyah sarımsak kullanımına bağlı genel eğilim açısından değerlendirilmelidir. Benzer şekilde, Kelebek vd. (2026), buğday ekmeğine %2-8 oranında siyah sarımsak ilavesinin toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasitede kullanım düzeyine bağlı değişikliklere yol açtığını bildirmiştir. Siyah sarımsağın üretimi sırasında gerçekleşen kontrollü ısı işlem ve fermantasyon reaksiyonları, özellikle Maillard reaksiyonları, fenolik bileşiklerin oluşumunu ve serbest hale geçmesini teşvik etmekte ve bu durum siyah sarımsağın daha yüksek TFM içeriği göstermesine katkı sağlamaktadır (Ahmed ve Wang, 2021; Sasmaz vd., 2025; Tahir vd., 2022). Ayrıca, yağ ağırlık temelinde ifade edilen sonuçlara göre, yağı azaltılmış sosların standart formülasyonlara kıyasla daha yüksek TFM değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir (%40-90) ($P<0.05$). Bununla birlikte, örneklerin yağsız kuru madde içerikleri belirlenmediğinden, bu farklılığın doğrudan yağ miktarındaki azalmadan kaynaklandığı kesin olarak söylenemez. Gözlenen artış, yağ miktarının azaltılmasına bağlı olarak diğer bileşenlerin birim ürün içindeki nispi oranlarının yükselmesi ve fenolik bileşiklerin matris içindeki dağılımının değişmesiyle ilişkili olabilir.

Çizelge 2. In vitro sindirim sürecinde sarımsak soslarının toplam fenolik madde içeriği ve toplam antioksidan kapasitelerinde meydana gelen değişimler

Numune <i>Sample</i>	Sindirim öncesi <i>Undigested</i>	Gastrik sindirim sonrası <i>After gastric digestion</i>	İntestinal sindirim sonrası <i>After intestinal digestion</i>
Toplam fenolik madde içeriği (mg GAE/100 g) <i>Total phenolic content (mg GAE/100 g)</i>			
Standart taze sarımsak sosu <i>Standard raw garlic sauce</i>	4.1±0.9 ^{d,B}	92.7±3.0 ^{c,A}	93.3±5.6 ^{b,A}
Yağı azaltılmış taze sarımsak sosu <i>Reduced-fat raw garlic sauce</i>	7.8±1.3 ^{c,C}	173.7±21.7 ^{a,A}	99.2±1.9 ^{b,B}
Standart siyah sarımsak sosu <i>Standard black garlic sauce</i>	17.2±1.3 ^{b,C}	119.1±5.6 ^{bc,A}	89.0±3.6 ^{b,B}
Yağı azaltılmış siyah sarımsak sosu <i>Reduced-fat black garlic sauce</i>	24.1±1.7 ^{a,C}	147.1±3.4 ^{ab,A}	110.3±4.1 ^{a,B}

Çizelge 2. Devamı

Toplam antioksidan kapasite (mg TE/100 g) <i>Total antioxidant capacity (mg TE/100 g)</i>			
DPPH			
Standart taze sarımsak sosu <i>Standard raw garlic sauce</i>	9.0±1.7 ^{a,B}	19.3±3.7 ^{a,A}	6.2±0.4 ^{a,B}
Yağı azaltılmış taze sarımsak sosu <i>Reduced-fat raw garlic sauce</i>	5.3±0.6 ^{c,B}	13.2±2.7 ^{b,A}	6.1±0.3 ^{a,B}
Standart siyah sarımsak sosu <i>Standard black garlic sauce</i>	6.0±0.1 ^{bc,B}	15.8±0.4 ^{ab,A}	7.5±1.6 ^{a,B}
Yağı azaltılmış siyah sarımsak sosu <i>Reduced-fat black garlic sauce</i>	8.2±0.4 ^{ab,B}	13.3±0.7 ^{ab,A}	7.5±0.9 ^{a,B}
FRAP			
Standart taze sarımsak sosu <i>Standard raw garlic sauce</i>	1.6±0.3 ^{b,C}	12.2±1.2 ^{c,A}	6.5±1.0 ^{bc,B}
Yağı azaltılmış taze sarımsak sosu <i>Reduced-fat raw garlic sauce</i>	1.1±0.2 ^{b,C}	18.8±0.3 ^{b,A}	5.2±0.1 ^{c,B}
Standart siyah sarımsak sosu <i>Standard black garlic sauce</i>	5.3±0.8 ^{a,C}	20.9±0.4 ^{ab,A}	8.8±0.1 ^{b,B}
Yağı azaltılmış siyah sarımsak sosu <i>Reduced-fat black garlic sauce</i>	5.9±0.2 ^{a,C}	21.5±1.5 ^{a,A}	15.9±2.2 ^{a,B}

Veriler ortalama ± standart sapma şeklinde sunulmuştur. a-c: Aynı sütunda farklı küçük harflerle gösterilen değerler arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak anlamlıdır ($P<0.05$). A-C: Aynı satırda farklı büyük harflerle gösterilen değerler arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak anlamlıdır ($P<0.05$).

The data are presented as mean ± standard deviation. a-c: Values within the same column followed by different lowercase letters are significantly different ($P<0.05$). A-C: Values within the same row followed by different uppercase letters are significantly different ($P<0.05$).

Çizelge 2’de, sarımsak soslarının *in vitro* sindirim sürecine bağlı olarak TFM içeriklerinde meydana gelen değişimler sunulmuştur. Gastrik faz sonrasında, tüm örneklerde sindirilmemiş formlara kıyasla TFM düzeylerinde artış gözlenmiştir. En yüksek TFM değeri ise 173.7 mg GAE/100 g ile yağı azaltılmış taze sarımsak sosunda belirlenmiştir. Benzer bir eğilim, daha önce domates sosu üzerinde gerçekleştirilen bir çalışmada da rapor edilmiş olup, gastrik sindirimin ardından TFM miktarında artış tespit edilmiştir (Tomas vd., 2018). Bu artışın, sindirim süresince fenolik bileşiklerin matriksten kademeli olarak serbestleşmesi ve

mide ortamının asidik koşullarında stabilitelerini koruyabilmeleri ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Özdemirli ve Kamiloğlu, 2022). İntestinal faz sonrasında ise standart taze sarımsak sosunda gastrik faza kıyasla anlamlı bir değişim gözlenmezken, diğer sos örneklerinin TFM içeriklerinde azalma meydana gelmiştir (%25-43). Gözlenen azalış, başta ortam pH’sının nötr-alkali değerlere yükselmesine bağlı olarak fenolik bileşiklerin stabilitesinin azalması, iyonizasyon ve oksidatif degradasyon reaksiyonlarının hızlanması ile açıklanabilir. Ayrıca pankreatik enzimler ve safra tuzlarının varlığında fenolik bileşiklerin

diğer makromoleküllerle kompleks oluşturmalarının, serbest ve ölçülebilir fenolik fraksiyonun azalmasına katkıda bulunduğu düşünülmüştür (Odrizola-Serrano vd., 2023). Benzer şekilde, yabani sarımsakla zenginleştirilmiş atıştırılmalıklarda intestinal sindirim sonrasında bireysel fenolik bileşik miktarları ve antioksidan aktivitede azalma gözlenmiş, bu değişimlerin bileşik yapısı ve gıda matrisiyle ilişkili olabileceği bildirilmiştir (Kasprzak-Drozd vd., 2022). İntestinal sindirim sonrası TFM değeri, yağı azaltılmış siyah sarımsak sosunda 110.3 mg GAE/100 g, diğer sos örneklerinde ise 89.0-99.2 mg GAE/100 g aralığında bulunmuştur. Buna göre, biyoerişilebilir TFM miktarının yağı azaltılmış siyah sarımsak sosunda diğer formülasyonlara kıyasla istatistiksel olarak daha yüksek olduğu belirlenmiştir (%11-24) ($P<0.05$).

Toplam Antioksidan Kapasite (TAK)

TAK, DPPH ve FRAP olmak üzere iki farklı yöntem kullanılarak belirlenmiştir (Çizelge 2). Elde edilen sonuçlar, sindirim öncesi sarımsak soslarında DPPH yöntemi ile ölçülen TAK değerlerinin (5.3-9.0 mg TE/100 g), FRAP yöntemiyle belirlenen değerlere (1.1-5.9 mg TE/100 g) kıyasla daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu farklılığın, yöntemlerin ölçüm prensiplerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Nitekim DPPH analizi lipofilik antioksidanları değerlendirebilirken, FRAP yöntemi esas olarak hidrofilik antioksidan bileşikleri ölçmektedir (Capanoglu vd., 2022). Dolayısıyla, sos matrisinde bulunan antioksidan bileşenlerin çözünürlük özellikleri ve dağılımının, bu iki yöntem arasında gözlenen farklılığın temel nedenlerinden biri olduğu düşünülmüştür. FRAP yöntemi kullanılarak elde edilen sindirim öncesi sonuçlar, TFM içeriğinde gözlenen eğilimle benzerlik göstermiş ve siyah sarımsak ile hazırlanan sosların taze sarımsakla hazırlananlara kıyasla istatistiksel olarak daha yüksek antioksidan kapasiteye sahip olduğunu ortaya koymuştur (%231-436) ($P<0.05$). Bu bulgu literatürde yer alan çalışmalarla da uyumludur (Fernandez ve González, 2024; Sasmaz vd., 2025). Buna karşılık, DPPH yöntemi ile elde edilen sonuçlar farklı bir eğilim ortaya koymuştur. Standart taze sarımsak sosunda en yüksek TAK değeri 9.0 mg TE/100 g olarak belirlenirken, bunu 8.2 mg TE/100 g ile yağı azaltılmış siyah sarımsak sosu izlemiştir. DPPH ve FRAP yöntemleri farklı reaksiyon mekanizmalarına ve antioksidan bileşiklere karşı farklı duyarlılıklara sahip olduğundan, iki yöntemle elde edilen sonuçlar arasında farklılıklar gözlenebilmektedir. Bu nedenle sonuçlar, her iki yöntemin ölçüm prensipleri dikkate

alınarak birlikte değerlendirilmiştir. Antioksidan kapasite sonuçlarının kullanılan yöntemle bağlı olarak farklılaşabileceği, sarımsak örneklerinin incelendiği güncel bir çalışmada da gösterilmiştir. Yang vd. (2025), farklı işlemlere tabi tutulan sarımsak örneklerinde DPPH ve ABTS sonuçlarının toplam fenolik ve flavonoid madde içeriklerindeki değişimlerle her durumda paralellik göstermediğini bildirmiş ve antioksidan kapasitenin farklı reaksiyon mekanizmalarına sahip yöntemlerle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

İn vitro sindirim sürecine bağlı olarak sarımsak soslarının TAK değerlerinde meydana gelen değişimler Çizelge 2'de sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar TFM verileriyle genel olarak uyumlu olup, gastrik sindirim sonrasında sindirilmemiş örneklere kıyasla TAK düzeylerinde artış gözlenmiş (12.2-21.5 mg TE/100 g), intestinal sindirim aşamasında ise gastrik faza göre azalma meydana gelmiştir (5.2-15.9 mg TE/100 g). Gastrik fazda fenolik bileşiklerin ve diğer antioksidan bileşenlerin gıda matrisinden serbestleşmesi, antioksidan kapasitede gözlenen artışa katkı sağlamış olabilir. İntestinal fazdaki azalma ise ortam pH'sındaki değişim ile sindirim koşulları altında meydana gelebilecek yapısal dönüşüm, oksidasyon ve degradasyon reaksiyonlarıyla ilişkili olabilir (Morais vd., 2025). Siyah sarımsak içeren sosların intestinal sindirim sonrasında belirlenen TAK değerleri, genel olarak taze sarımsak içeren soslardan daha yüksek bulunmuştur. FRAP yöntemiyle belirlenen en yüksek intestinal sindirim sonrası TAK değeri ise yağı azaltılmış siyah sarımsak sosunda saptanmıştır (15.9 mg TE/100 g) ($P<0.05$).

Gıdalarda TAK değerinin tek bir yöntemle belirlenmesinin yeterli ve güvenilir sonuçlar sağlamayabileceği literatürde rapor edilmektedir. Bu nedenle, doğru ve kapsamlı bir değerlendirme için farklı etki mekanizmalarına sahip birden fazla antioksidan kapasite yönteminin birlikte uygulanması önerilmektedir (Capanoglu vd., 2022). Bu yaklaşım doğrultusunda, bu çalışmada elektron transferi temelli FRAP yöntemi ile karma mekanizmaya sahip DPPH yöntemi birlikte kullanılmıştır.

HPLC-PDA ile Fenolik Bileşiklerin Belirlenmesi

Folin-Ciocalteu yöntemi pratik uygulanabilirliği, güvenilirliği ve yüksek tekrarlanabilirliği gibi avantajlara sahip olmakla birlikte bazı sınırlılıklar da içermektedir. Bu yöntem yalnızca fenolik bileşikler değil, aynı zamanda diğer indirgen özellik gösteren bileşenleri de ölçebilmektedir. Ayrıca analiz sulu ortamda gerçekleştirildiğinden, lipofilik karakterdeki fenolik bileşiklerin

belirlenmesi sınırlı kalabilmektedir (Capanoglu vd., 2022). Bu nedenle, çalışmada spektrofotometrik TFM analizine ek olarak, bireysel fenolik bileşiklerin daha ayrıntılı belirlenebilmesi amacıyla HPLC-PDA tabanlı kromatografik analizler de gerçekleştirilmiştir.

Flavonoidler

HPLC-PDA analizi sonucunda, epikateşin hem taze sarımsak hem de siyah sarımsak kullanılarak hazırlanan sos örneklerinde başlıca flavonoid bileşik olarak belirlenmiştir (Çizelge 3). Bunun yanı sıra, daha düşük konsantrasyonlarda rutin ve kuersetin tespit edilmiştir. Rutin, yağı azaltılmış siyah sarımsak sosu hariç tüm sos örneklerinde belirlenirken, kuersetin yalnızca siyah sarımsak içeren sos örneklerinde saptanmıştır. Epikateşin miktarı standart ve yağı azaltılmış taze sarımsak soslarında sırasıyla 1528.5 ve 8335.0 µg/100 g, standart ve yağı azaltılmış

siyah sarımsak soslarında ise sırasıyla 4986.8 ve 27487.1 µg/100 g olarak belirlenmiştir. Rutin miktarı tespit edilebildiği örneklerde 13.6-25.0 µg/100 g aralığında değişirken, kuersetin standart ve yağı azaltılmış siyah sarımsak soslarında sırasıyla 8.9 ve 12.1 µg/100 g düzeyinde bulunmuştur. Epikateşin, rutin ve kuersetin, daha önce yapılan çalışmalarda da sarımsakta tespit edilen flavonoidler arasında yer almaktadır (Ahmad vd., 2020; Emir vd., 2020). Toplam flavonoid içeriği değerlendirildiğinde, spektrofotometrik analiz sonuçlarıyla uyumlu olarak, flavonoid miktarının yağ içeriği azaltılmış sos örneklerinde, standart formülasyonlara kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu belirlenmiştir (%36-451) ($P<0.05$). Bu durum, yağ içeriği yüksek formülasyonlarda epikateşin ve kuersetin gibi nispeten polar fenolik bileşiklerin matriks içerisinde tutulması, protein-yağ-fenolik bileşik etkileşimleri ve/veya emülsiyon yapısı içinde hapsolması sonucunda analiz sırasında geri kazanımın sınırlanmış olabileceği şeklinde açıklanabilir.

Çizelge 3. In vitro sindirim sürecinde sarımsak soslarının HPLC-PDA ile belirlenen bireysel flavonoid miktarlarında meydana gelen değişimler
Table 3. Changes in individual flavonoid contents determined by HPLC-PDA in garlic sauces during in vitro digestion

Numune Sample	Sindirim öncesi Undigested	İntestinal sindirim sonrası After intestinal digestion
	Epikateşin (µg/100 g) Epicatechin (µg/100 g)	
Standart taze sarımsak sosu Standard raw garlic sauce	1528.5±30.2 ^d	77.3±1.5 ^b
Yağı azaltılmış taze sarımsak sosu Reduced-fat raw garlic sauce	8335.0±164.8 ^b	<LOQ
Standart siyah sarımsak sosu Standard black garlic sauce	4986.8±8.2 ^c	103.2±0.6 ^a
Yağı azaltılmış siyah sarımsak sosu Reduced-fat black garlic sauce	27487.1±460.1 ^a	<LOQ
	Rutin (µg/100 g) Rutin (µg/100 g)	
Standart taze sarımsak sosu Standard raw garlic sauce	18.3±2.4 ^{ab}	<LOQ
Yağı azaltılmış taze sarımsak sosu Reduced-fat raw garlic sauce	25.0±3.3 ^a	<LOQ
Standart siyah sarımsak sosu Standard black garlic sauce	13.6±1.8 ^b	<LOQ
Yağı azaltılmış siyah sarımsak sosu Reduced-fat black garlic sauce	<LOQ	<LOQ

Çizelge 3. Devamı

	Kuersetin ($\mu\text{g}/100\text{ g}$) <i>Quercetin</i> ($\mu\text{g}/100\text{ g}$)	
Standart taze sarımsak sosu <i>Standard raw garlic sauce</i>	<LOQ	<LOQ
Yağı azaltılmış taze sarımsak sosu <i>Reduced-fat raw garlic sauce</i>	<LOQ	<LOQ
Standart siyah sarımsak sosu <i>Standard black garlic sauce</i>	8.9 ± 0.6^b	28.6 ± 1.9^b
Yağı azaltılmış siyah sarımsak sosu <i>Reduced-fat black garlic sauce</i>	12.1 ± 0.8^a	39.0 ± 2.5^a

Veriler ortalama $\pm$ standart sapma şeklinde sunulmuştur. a-c: Aynı sütunda farklı küçük harflerle gösterilen değerler arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak anlamlıdır ($P < 0.05$). A-C: Aynı satırda farklı büyük harflerle gösterilen değerler arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak anlamlıdır ($P < 0.05$). LOQ: ölçüm sınırı.

The data are presented as mean $\pm$ standard deviation. a-c: Values within the same column followed by different lowercase letters are significantly different ($P < 0.05$). A-C: Values within the same row followed by different uppercase letters are significantly different ($P < 0.05$). LOQ: limit of quantification.

Sindirim sonrası flavonoid profili değerlendirildiğinde, sos örneklerinin epikateşin ve rutin içeriklerinin sindirim sonrasında başlangıç düzeylerine kıyasla önemli ölçüde azaldığı belirlenmiştir. Epikateşin yalnızca standart taze ve standart siyah sarımsak soslarında kantifiye edilebilirken, yağı azaltılmış soslarda epikateşin ve tüm sos örneklerinde rutin miktarı ölçüm sınırının altında kalmıştır. Bu azalış, flavonoidlerin gastrointestinal sindirim koşullarında pH değişimleri, enzimatik ortam, safra tuzları ve oksidatif reaksiyonlara bağlı olarak yapısal dönüşümüne uğraması veya stabilitelerinin azalması ile ilişkilendirilebilir. Bu sonuçlar, Moreno-Ortega vd. (2020) tarafından taze sarımsakta epikateşinin sindirim sırasında kademeli olarak azaldığını gösteren bulgularla uyumludur. Buna karşılık, siyah sarımsak soslarında kuersetin içeriğinin sindirim sonrasında arttığı tespit edilmiştir. Bu artış, sindirim sürecinde rutin gibi kuersetin türevlerinin hidrolize olarak serbest kuersetin formuna dönüşmesiyle ilişkili olabilir. Sindirim sonrasında rutin tespit edilememesi de bu olasılığı desteklemektedir. Biyoerişilebilir flavonoid miktarları değerlendirildiğinde, epikateşin düzeyi standart siyah sarımsak sosunda $103.2\ \mu\text{g}/100\text{ g}$, standart taze sarımsak so-

sunda ise $77.3\ \mu\text{g}/100\text{ g}$ olarak belirlenmiş ve siyah sarımsak kullanımıyla birlikte istatistiksel olarak anlamlı düzeyde artmıştır (%34) ($P < 0.05$). Kuersetin düzeyi ise yağ içeriği azaltılmış siyah sarımsak sosunda $39.0\ \mu\text{g}/100\text{ g}$, standart siyah sarımsak sosunda $28.6\ \mu\text{g}/100\text{ g}$ olarak belirlenmiş ve yağ azaltımıyla birlikte istatistiksel olarak anlamlı düzeyde artmıştır (%36) ($P < 0.05$).

Fenolik Asitler

HPLC-PDA analizi sonucunda, gallik asit hem taze sarımsak hem de siyah sarımsak kullanılarak hazırlanan sos örneklerinde bulunan başlıca fenolik asit olarak belirlenmiştir (Çizelge 4). Ayrıca, klorojenik asit de tüm sos örneklerinde tespit edilmiştir. Sindirim öncesinde en yüksek gallik asit ve klorojenik asit miktarları, sırasıyla 573.0 ve $68.5\ \mu\text{g}/100\text{ g}$ ile yağı azaltılmış siyah sarımsak sosunda belirlenmiştir. Gallik asit ve klorojenik asit, daha önce yapılan çalışmalarda da sarımsakta belirlenen fenolik asitler arasında yer almaktadır (Sasmaz vd., 2025; Šnirc vd., 2023). Toplam fenolik asit içeriği değerlendirildiğinde, spektrofotometrik analiz ve flavonoid profili sonuçlarıyla uyumlu olarak fenolik asit miktarının yağ içeriği azaltılmış sos örneklerin-

de standart formülasyonlara kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu belirlenmiştir (%25-66) ($P<0.05$). Bu farklılık, yağ oranının azaltılmasıyla fenolik asitlerin matriks

içerisindeki tutulma düzeyinin azalması ve buna bağlı olarak ekstrakte edilebilirliklerinin artmasıyla ilişkilendirilebilir.

Çizelge 4. In vitro sindirim sürecinde sarımsak soslarının HPLC-PDA ile belirlenen bireysel fenolik asit miktarlarında meydana gelen değişimler
Table 4. Changes in individual phenolic acid contents determined by HPLC-PDA in garlic sauces during in vitro digestion

Numune Sample	Sindirim öncesi Undigested	İntestinal sindirim sonrası After intestinal digestion
Gallik asit ($\mu\text{g}/100\text{ g}$) Gallic acid ($\mu\text{g}/100\text{ g}$)		
Standart taze sarımsak sosu Standard raw garlic sauce	304.3 $\pm$ 6.7 ^d	3795.7 $\pm$ 41.9 ^b
Yağı azaltılmış taze sarımsak sosu Reduced-fat raw garlic sauce	481.2 $\pm$ 10.6 ^b	3407.2 $\pm$ 63.2 ^c
Standart siyah sarımsak sosu Standard black garlic sauce	345.6 $\pm$ 0.8 ^c	3737.2 $\pm$ 28.6 ^b
Yağı azaltılmış siyah sarımsak sosu Reduced-fat black garlic sauce	573.0 $\pm$ 12.6 ^a	5011.2 $\pm$ 14.5 ^a
Klorojenik asit ($\mu\text{g}/100\text{ g}$) Chlorogenic acid ($\mu\text{g}/100\text{ g}$)		
Standart taze sarımsak sosu Standard raw garlic sauce	20.9 $\pm$ 1.4 ^c	<LOQ
Yağı azaltılmış taze sarımsak sosu Reduced-fat raw garlic sauce	31.0 $\pm$ 2.1 ^c	<LOQ
Standart siyah sarımsak sosu Standard black garlic sauce	54.7 $\pm$ 3.8 ^b	72.7 $\pm$ 3.4 ^b
Yağı azaltılmış siyah sarımsak sosu Reduced-fat black garlic sauce	68.5 $\pm$ 4.7 ^a	92.5 $\pm$ 6.4 ^a

Veriler ortalama $\pm$ standart sapma şeklinde sunulmuştur. a-c: Aynı sütunda farklı küçük harflerle gösterilen değerler arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak anlamlıdır ($P<0.05$). A-C: Aynı satırda farklı büyük harflerle gösterilen değerler arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak anlamlıdır ($P<0.05$). LOQ: ölçüm sınırı.

The data are presented as mean $\pm$ standard deviation. a-c: Values within the same column followed by different lowercase letters are significantly different ($P<0.05$).

A-C: Values within the same row followed by different uppercase letters are significantly different ($P<0.05$). LOQ: limit of quantification.

İn vitro sindirim sürecine bağlı olarak sarımsak soslarının fenolik asit içeriklerinde meydana gelen değişimler Çizelge 4'te sunulmuştur. Sindirim sonrasında gallik asit miktarında önemli artışlar gözlenmiştir. Bu artış, mide asidi ve sindirim enzimlerinin etkisiyle gallotaninler veya diğer polifenol komplekslerinde

bulunan ester bağlarının hidrolize olması, sos matriksindeki protein, yağ ve polisakkarit yapılar içerisinde tutulan fenolik bileşiklerin serbestleşmesi ve pH değişimlerine bağlı olarak fenolik bileşik-matriks etkileşimlerinin zayıflaması sonucunda gallik asidin ekstrakte edilebilir ve analitik olarak tespit edilebilir

düzeşinin artmasıyla ilişkilendirilebilir (Şęczyk vd., 2021; Tarko vd., 2020). Benzer şekilde, klorojenik asit seviyeleri de siyah sarımsak soslarında sindirim sonrasında artış gösterirken, taze sarımsak soslarında tespit edilememiştir. Sindirim sonrası klorojenik asit miktarı standart ve yağ azaltılmış siyah sarımsak soslarında sırasıyla 72.7 ve 92.5 µg/100 g olarak belirlenmiştir. TFM sonuçlarıyla uyumlu olarak, biyoerişilebilir gallik asit ve klorojenik asit miktarlarının yağ içeriği azaltılmış siyah sarımsak sosu örneğinde diğer formülasyonlara kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu belirlenmiştir (%27-47) ($P<0.05$).

SONUÇ

Bu çalışmada, taze sarımsak bazlı soslara yenilikçi bir alternatif olarak geliştirilen siyah sarımsak soslarında fenolik bileşiklerin ve antioksidanların biyoerişilebilirliği in vitro sindirim modeli ile değerlendirilmiştir. Bulgular, siyah sarımsak kullanımının sosların TFM içeriği ve TAK üzerinde olumlu etkiler oluşturduğunu, yağ azaltımının ise özellikle fenolik bileşiklerin ekstrakte edilebilirliği ve sindirim sonrası biyoerişilebilirliği açısından avantaj sağlayabileceğini göstermiştir. Yağ azaltılmış siyah sarımsak sosu, biyoerişilebilir TFM, antioksidan kapasite ve gallik asit ile klorojenik asit düzeyleri bakımından öne çıkan formülasyon olmuştur. Bununla birlikte, duyusal değerlendirme sonuçları bu formülasyonun panelist beğenisi açısından yüksek kabul düzeyine sahip olmadığını ortaya koymuş, dolayısıyla fonksiyonel özellikler ile duyusal kabul arasında optimizasyon gerekliliğini göstermiştir. Çalışmada taze ve siyah sarımsak yalnızca tek bir kullanım düzeyinde değerlendirilmiştir. Siyah sarımsağın taze sarımsaktan farklı ve daha yumuşak bir aroma profiline sahip olması nedeniyle, farklı kullanım düzeylerinde siyah sarımsağa öğgü duyusal özelliklerin daha belirgin hale gelmesi mümkün olabilir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda farklı siyah sarımsak kullanım düzeylerinin duyusal kabul ve fonksiyonel özellikler üzerindeki etkilerinin birlikte değerlendirilmesi, daha geniş tüketici panellerinin kullanılması, raf ömrü analizlerinin gerçekleştirilmesi ve daha kapsamlı kromatografik yaklaşımların uygulanması önerilmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarların başka kişiler ve/veya kurumlar ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

YAZARLARIN KATKISI

Rukiye Terut, Elif Ceren Kaya ve Merve Tomaş deneysel çalışmaların yürütölmesi ve elde edilen verilerin değerlendirilmesi-ne katkı sağlamıştır. Senem Kamiloğlu ise bu katkılara ilaveten çalışmanın kurgulanması ve makalenin hazırlanmasında görev almıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı tarafından finansal olarak desteklenmiştir (Proje No: 1919B012406177).

YAPAY ZEKA KULLANIMINA İLİŞKİN BEYAN

Bu makalenin hazırlanmasında hiçbir yapay zekâ programı kullanılmamıştır.

KAYNAKLAR

- Ahmad, R., Ahmad, N., Riaz, M., Al tarouti, M., Aloufi, F., AlDarwish, A., Alalaq, B., Alhanfoush, B., & Khan, Z. (2020). Optimization of extraction and quantification technique for phenolics content of garlic (*Allium sativum*): An application for comparative phytochemical evaluation based on cultivar origin. *Biomedical Chromatography*, 34(11), e4942, <https://doi.org/10.1002/bmc.4942>.
- Ahmed, T., & Wang, C. K. (2021). Black garlic and its bioactive compounds on human health diseases: A review. *Molecules*, 26(16), 5028, <https://doi.org/10.3390/molecules26165028>.
- Avcı, E., Tekin-Çakmak, Z. H., Özgölet, M., Karasu, S., Kasapoğlu, M. Z., Ramadan, M. F., & Sağdıç, O. (2023). Capsaicin rich low-fat salad dressing: Improvement of rheological and sensory properties and emulsion and oxidative stability. *Foods*, 12(7), 1529. <https://doi.org/10.3390/foods1207152>.
- Benzie, I.F., & Strain, J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70-76, <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>.
- Cao, W., Li, L., Wang, J., Guo, W., Chen, W., Pan, L., & Li, D. (2025). Effects of black garlic polyphenols on the physicochemical characteristics, antioxidant activity, and sensory evaluation of yogurt. *Gels*, 11(7), 561, <https://doi.org/10.3390/gels11070561>.

- Capanoglu, E., Kamiloglu, S., Demirci Cekic, S., Sozgen Baskan, K., Avan, A. N., Uzunboy, S., & Apak, R. (2022). Antioxidant activity and capacity measurement. In: *Plant Antioxidants and Health*, Ekiert, H.M., Ramawat, K.G., Arora, J. (Eds.), Springer, pp. 709-773, https://doi.org/10.1007/978-3-030-45299-5_22-1.
- Dantas, A. M., Fernandes, F. G., Magnani, M., & Borges, G. D. S. C. (2023). Gastrointestinal digestion assays for evaluating the bioaccessibility of phenolic compounds in fruits and their derivatives: An overview. *Food Research International*, 170, 112920, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112920>.
- Döver, H., Bekar, E., ve Kamiloglu, S. (2024). Çörek otu posasının marmelat yapımında değerlendirilmesi: Fenolik bileşiklerin biyoerişilebilirliği ve antioksidan kapasite üzerine etkileri. *Gıda*, 49(6), 1206-1217, <https://doi.org/10.15237/gida.GD24085>.
- Emir, A., Emir, C., & Yıldırım, H. (2020). Characterization of phenolic profile by LC-ESI-MS/MS and enzyme inhibitory activities of two wild edible garlic: *Allium nigrum* L. and *Allium subhirsutum* L. *Journal of Food Biochemistry*, 44(4), e13165, <https://doi.org/10.1111/jfbc.13165>.
- Fernandez, S.P., & González, R. E. (2024). Nutritional quality, bioactive compounds, and antioxidant activity of nine clones of fresh garlic and its black garlic derivative: A comparative study. *Biology and Life Sciences Forum*, 40(1), 29, <https://doi.org/10.3390/blsf2024040029>.
- Kamiloglu, S. (2019). Taze ve dondurulmuş elmalarda ve elma posasında polifenol biyoerişilebilirliğinin değerlendirilmesi. *GIDA*, 44(3), 409-418, <https://doi.org/10.15237/gida.gd19026>.
- Kamiloglu, S., Tomas, M., Ozdal, T., & Capanoglu, E. (2021). Effect of food matrix on the content and bioavailability of flavonoids. *Trends in Food Science & Technology*, 117, 15-33, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.10.030>.
- Kasprzak-Drozd, K., Oniszcuk, T., Kowalska, I., Moldoch, J., Combrzyński, M., Gancarz, M., Dobrzański, B. Jr., Kondracka, A., & Oniszcuk, A. (2022). Effect of the production parameters and *in vitro* digestion on the content of polyphenolic compounds, phenolic acids, and antiradical properties of innovative snacks enriched with wild garlic (*Allium ursinum* L.) leaves. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(22), 14458, <https://doi.org/10.3390/ijms232214458>.
- Kelebek, H., Sasmaz, H.K., Yazici, G.N., Sevindik, O., Guclu, G., Uzlasir, T., Aksay, Ö., Ozer, M.S., & Selli, S. (2026). Impact of black garlic and its encapsulated form on the physicochemical properties, antioxidant potential, and aroma-active profile of wheat bread. *Scientific Reports*, 16, 17039, <https://doi.org/10.1038/s41598-026-47739-5>.
- Kilic-Buyukkurt, O., Kelebek, H., Bordiga, M., Keskin, M., & Selli, S. (2023). Changes in the aroma and key odorants from white garlic to black garlic using approaches of molecular sensory science: A review. *Helijon*, 9(8), e19056, <https://doi.org/10.1016/j.helijon.2023.e19056>.
- Kumaran, A., & Karunakaran R.J. (2006). Antioxidant and free radical scavenging activity of an aqueous extract of *Coleus aromaticus*. *Food Chemistry*, 97(1), 109-114, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.03.032>.
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010). *Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices*. 2nd ed., Springer, New York, NY. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6488-5>.
- Matsuse, K., Hirata, S., Abdelrahman, M., Nakajima, T., Iuchi, Y., Kambayashi, S., Okuda, M., Kazumura, K., Manochai, B., & Shigyo, M. (2024). Comparative studies of bioactivities and chemical components in fresh and black garlics. *Molecules*, 29(10), 2258, <https://doi.org/10.3390/molecules29102258>.
- Minekus, M., Alminger M., Alvito P., Ballance S., Bohn T., Bourlieu C., Carriere F., Boutrou R., Corredig M., Dupont D., Dufour C., Egger L., Golding M., Karakaya S., Kirkhus B., Le Feunteun S., Lesmes U., Macierzanka A., Mackie A., Marze S., McClements D.J., Menard O., Recio I., Santos C.N., Singh R.P., Vegarud G.E., Wickham M.S.J., Weitschies W., & Brodtkorb A. (2014). A standardised static *in vitro* digestion method suitable for food-an international consensus. *Food & Function*, 5(6), 1113-1124, <https://doi.org/10.1039/C3FO60702J>.
- Morais, R.A., Sousa, H.M.S., & Martins, G.A.D.S. (2025). Application of the INFOGEST Protocol to Evaluate the Effects of Simulated In Vitro Gastrointestinal Digestion on Polyphenols and Antioxidant Potential of Four Native Amazonian Fruits. *ACS Omega*, 10(48), 59872-59884, <https://doi.org/10.1021/acsomega.5c09934>.
- Moreno-Ortega, A., Di Pede, G., Pereira-Caro, G., Calani, L., Mena, P., Del Rio, D., & Moreno-Rojas, J. M. (2022). In vitro colonic fermentation of (poly)phenols and organosulfur compounds of fresh and black garlic. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(12), 3666-3677, <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c08081>.
- Moreno-Ortega, A., Pereira-Caro, G., Ordóñez, J. L., Moreno-Rojas, R., Ortíz-Somovilla, V., & Moreno-Rojas, J. M. (2020). Bioaccessibility of bioactive compounds of 'fresh garlic' and 'black garlic' through in vitro gastrointestinal digestion. *Foods*, 9(11), 1582, <https://doi.org/10.3390/foods9111582>.

- Nikzade, V., Tehrani, M. M., & Saadatmand-Tarzjan, M. (2012). Optimization of low-cholesterol-low-fat mayonnaise formulation: Effect of using soy milk and some stabilizer by a mixture design approach. *Food Hydrocolloids*, 28(2), 344-352. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.12.023>.
- Odriozola-Serrano, I., Nogueira, D. P., Esparza, I., Vaz, A. A., Jiménez-Moreno, N., Martín-Belloso, O., & Ancín-Azpilicueta, C. (2023). Stability and bioaccessibility of phenolic compounds in rosehip extracts during in vitro digestion. *Antioxidants*, 12(5), 1035, <https://doi.org/10.3390/antiox12051035>.
- Özdemirli, N., ve Kamiloğlu, S. (2022). Kavun çekirdeği şerbetinde (sübye) fenolik bileşiklerin biyoerişilebilirliğinin değerlendirilmesi. *GIDA*, 47 (6), 1130-1139, <https://doi.org/10.15237/gida.GD22083>.
- Paulauskienė, A., Kulbokas, Š., Zvicevičius, E., & Tarasevičienė, Ž. (2024). Changes in garlic quality during fermentation under different conditions. *Foods*, 13(11), 1665, <https://doi.org/10.3390/foods13111665>.
- Sasmaz, H. K., Ilgaz, C., Kadiroğlu, P., Erkin, O. C., Selli, S., & Kelebek, H. (2025). Comparative phytochemical analysis and bioactive potential of white and black garlic. *Scientific Reports*, 15(1), 23427, <https://doi.org/10.1038/s41598-025-03843-6>.
- Sęczyk, Ł., Sugier, D., Świeca, M., & Gawlik-Dziki, U. (2021). The effect of in vitro digestion, food matrix, and hydrothermal treatment on the potential bioaccessibility of selected phenolic compounds. *Food Chemistry*, 344, 128581, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128581>.
- Šnirc, M., Lidiková, J., Čeryová, N., Pintér, E., Ivanišová, E., Musilová, J., Vollmannová, A., & Rybníkář, S. (2023). Mineral and phytochemical profiles of selected garlic (*Allium sativum* L.) cultivars. *South African Journal of Botany*, 158, 319-325, <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.05.024>.
- Tahir, Z., Saeed, F., Nosheen, F., Ahmed, A., & Anjum, F. M. (2022). Comparative study of nutritional properties and antioxidant activity of raw and fermented (black) garlic. *International Journal of Food Properties*, 25(1), 116-127, <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2026954>.
- Tarko, T., & Duda-Chodak, A. (2020). Influence of food matrix on the bioaccessibility of fruit polyphenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(5), 1315-1325, <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b07680>.
- Tomas, M., Beekwilder, J., Hall, R. D., Simon, C. D., Sagdic, O., & Capanoglu, E. (2018). Effect of dietary fiber (inulin) addition on phenolics and in vitro bioaccessibility of tomato sauce. *Food Research International*, 106, 129-135, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.050>.
- Velioglu, Y.S., Mazza G., Gao L., & Oomah B.D. (1998). Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(10), 4113-4117, <https://doi.org/10.1021/jf9801973>.
- Wu, J., Jin, Y., & Zhang, M. (2021). Evaluation on the physicochemical and digestive properties of melanoidin from black garlic and their antioxidant activities in vitro. *Food Chemistry*, 340, 127934, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127934>.
- Yang, H.-J., Shin, J.-S., Oh, S.-M., Bae, J.-E., Ye, S.-J., Choi, H.-W., & Baik, M.-Y. (2025). Enhancing antioxidant and anti-inflammatory activities of garlic by puffing. *Molecules*, 30(9), 2022, <https://doi.org/10.3390/molecules30092022>.
- Zhang, Y., Cai, P., Cheng, G., & Zhang, Y. (2022). A brief review of phenolic compounds identified from plants: Their extraction, analysis, and biological activity. *Natural Product Communications*, 17(1), <https://doi.org/10.1177/1934578X211069721>.

Nasıl Atıf Yapılır?:

Terut R., Kaya E.C., Tomaş M., Kamiloğlu S. (2026) Siyah sarımsak soslarında fenolik bileşiklerin biyoerişilebilirliğinin değerlendirilmesi. *GIDA* (2026) 51 (5) 999-1012 doi: 10.15237/gida.GD26061

Cite this article as:

Terut R., Kaya E.C., Tomaş M., Kamiloğlu S. (2026) Evaluation of the bioaccessibility of phenolic compounds in black garlic sauces. *GIDA* (2026) 51 (5) 999-1012 doi: 10.15237/gida.GD26061