



GIDA
THE JOURNAL OF FOOD
E-ISSN 1309-6273, ISSN 1300-3070

Araştırma/Research
GIDA (2026) 51 (4) 771-788
doi:10.15237/gida.GD26042

GREYFURT KABUĞU (*Citrus paradisi*) EKSTRAKTİ İLAVESİNİN ÇİĞ DEPOLANMIŞ DANA HAMBURGER KÖFTELERİN OKSİDATİF STABİLİTESİ, FİZİKOKİMYASAL VE TEKSTÜREL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Azim ŞİMŞEK 

İsparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Eğirdir Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Isparta, Türkiye

Geliş / Received: 11.04.2026; Kabul / Accepted: 12.06.2026; Online Baskı / Published online: 21.07.2026

ÖZ

Bu çalışmada, çiğ dana hamburger köftelerinde liyofilize greyfurt kabuğu ekstraktı (GKE) ve bütillenmiş hidroksitoluen (BHT) kullanımının oksidatif stabilite, fizikokimyasal ve tekstürel özellikler üzerindeki etkileri 6 günlük soğuk depolama (4°C) süresince incelenmiştir. Araştırma kapsamında; herhangi bir katkı içermeyen kontrol grubu, sentetik antioksidan içeren %0.01 BHT grubu ve doğal antioksidan etkisini test etmek amacıyla iki farklı konsantrasyonda hazırlanan %0.5 GKE ile %1.0 GKE grupları olmak üzere toplam dört farklı deneme grubu oluşturulmuştur. GKE ilavesi, kontrol ve BHT gruplarına kıyasla lipit hidroperoksit (LPO), tiyobarbitürik asit reaktif maddeler (TBARS) ve karbonil değerlerini önemli ölçüde düşürerek ($P<0.05$) protein ve lipit oksidasyonunu sınırlandırmıştır. Ayrıca GKE kullanımı pH, sertlik ve sakızimsılık değerlerinde düşüşe; L^* , a^* ve b^* renk değerlerinde ise artışa neden olmuştur ($P<0.05$). Kimyasal kompozisyon ve diğer tekstürel özellikler üzerinde ise genel olarak belirgin bir değişim gözlenmemiştir ($P>0.05$). Sonuçlar, GKE'nin oksidatif stabiliteyi iyileştirmede etkili bir doğal antioksidan potansiyeline sahip olduğunu ve GKE konsantrasyonu arttıkça antioksidan etkinin artış gösterdiğini ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler: Hamburger köfte, bütillenmiş hidroksitoluen, greyfurt kabuğu, ekstrakt, oksidatif stabilite

EFFECTS OF GRAPEFRUIT PEEL (*Citrus paradisi*) EXTRACT ADDITION ON THE OXIDATIVE STABILITY, PHYSICOCHEMICAL AND TEXTURAL PROPERTIES OF RAW STORED BEEF HAMBURGER PATTIES

ABSTRACT

This study investigated the effects of lyophilized grapefruit peel extract (GKE) and BHT on the oxidative stability, physicochemical, and textural characteristics of raw beef patties during refrigerated storage for 6 days. A total of four experimental groups were established within the scope of the research: a control group containing no additives, a group supplemented with 0.01% BHT as a synthetic antioxidant, and two groups treated with 0.5% and 1.0% GKE to evaluate the efficacy of the natural antioxidant at different concentrations. The incorporation of GKE significantly limited both protein and lipid oxidation by reducing lipid hydroperoxide (LPO), thiobarbituric acid reactive substances (TBARS), and carbonyl contents compared to control and BHT ($P<0.05$). Furthermore, the use of GKE led to a decrease in pH, hardness, and gumminess values, while it resulted in an increase in L^* , a^* , and b^* color values ($P<0.05$). In contrast, no significant changes were generally observed in the chemical composition or other textural characteristics ($P>0.05$). The results demonstrated that GKE possesses natural antioxidant potential for improving oxidative stability, with its protective effects being further enhanced with increasing concentrations of GKE.

Key words: Beef hamburger patties, butylated hydroxytoluene, grapefruit peel, extract, oxidative stability

Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author: Azim ŞİMŞEK

ORCID No: 0000-0002-7570-0832 E-posta: azimsimsek@isparta.edu.tr



Gıda Dergisi Creative Commons Atıf-Gayri Ticari 4.0 (CC BY-NC 4.0) Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır.
The Journal of FOOD is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0).

GİRİŞ

Lipit oksidasyonu, doymamış yağ asitlerinin oksijen, ısı, ışık, metal iyonları ve serbest radikaller gibi faktörlerin etkisiyle parçalanması sonucu meydana gelen karmaşık bir reaksiyonlar zinciridir (Min ve Ahn, 2005). Bu süreç sonucunda aldehitler, ketonlar ve diğer uçucu bileşikler gibi çeşitli oksidasyon ürünleri oluşmakta olup bu bileşikler gıdalarda istenmeyen tat ve kokuların gelişmesine, renk değişimlerine ve besin değerinde azalmaya neden olmaktadır. Bununla birlikte oksidatif bozulma yalnızca lipitlerle sınırlı olmayıp proteinler de benzer şekilde oksidatif reaksiyonlara maruz kalmaktadır. Et ve et ürünlerinde meydana gelen oksidatif süreçler çoğunlukla lipit ve protein oksidasyonunun eş zamanlı ve birbirini etkileyen reaksiyonları şeklinde gerçekleşmektedir (Lund vd., 2011). Protein oksidasyonu, reaktif oksijen türleri (ROS) ve lipit oksidasyonu sırasında oluşan reaktif aldehitler gibi ikincil ürünlerin etkisiyle protein yapısındaki amino asit yan zincirlerinin modifikasyonu, karbonil bileşiklerinin oluşumu, sülfidril gruplarının kaybı ve protein agregasyonu gibi yapısal değişimlere yol açmaktadır. Özellikle lipit oksidasyonu sonucu oluşan malondialdehit (MDA) ve 4-hidroksi-2-nonenal (HNE) gibi reaktif karbonil bileşiklerini proteinlerle reaksiyona girerek protein oksidasyonunu hızlandırabilmektedir (Estévez, 2011). Benzer şekilde, protein oksidasyonu sırasında oluşan serbest radikaller de lipit oksidasyonunu teşvik edebilmekte, böylece her iki süreç arasında karşılıklı bir etkileşim ortaya çıkmaktadır (Soladoye vd., 2015). Bu oksidatif reaksiyonlar sonucunda tekstürel özelliklerde bozulma, su tutma kapasitesinde azalma, renk stabilitesinde düşüş ve duysal kalite kayıpları meydana gelmektedir. Ayrıca bazı ikincil oksidasyon ürünlerinin insan sağlığı üzerinde potansiyel olumsuz etkiler oluşturabileceği de bildirilmektedir (Amaral vd., 2018).

Et ve et ürünlerinde oksidatif değişimlerin kontrol altına alınması ya da geciktirilmesi amacıyla kütleme, vakum veya modifiye atmosferde ambalajlama, soğutarak veya dondurarak depolama ile doğal veya sentetik antioksidanların kullanımı en çok başvurulan yöntemlerdir. Bütillenmiş hidroksitoluen (BHT), bütillenmiş hidroksianisol (BHA) ve propil gallat gibi sentetik antioksidan maddeler yüksek düzeyde stabilite ve güçlü antioksidan aktivite göstermelerinden dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır (Şimşek ve Kılıç, 2012). Ancak son yıllarda yapılan çalışmalar, sentetik antioksidanların potansiyel toksik ve özellikle olası kanserojen etkilerine

etkileri, yüksek maliyetleri yönelik artan tüketici farkındalığı nedeniyle kullanımına ilişkin bazı endişelerin ortaya çıktığını göstermektedir (Gulcin, 2025). Bu nedenle, son çalışmalar et ürünlerinin oksidatif stabilitesini ve genel kalitesini artırma potansiyeline sahip doğal antioksidan kaynaklarının araştırılmasına odaklanmıştır. Baharatlar, aromatik bitkiler ve bitki kökenli materyaller bu amaçla araştırılan önemli doğal antioksidan kaynakları arasında yer almaktadır (Fernández-López vd., 2004; Trindade vd., 2010). Bu bağlamda Citrus cinsine ait meyveler, vitaminler, karotenoidler, lif ve fenolik bileşikler, biyolojik olarak aktif bileşenlerin önemli kaynakları olarak kabul edilmektedir (Castro-Vazquez vd., 2016).

Greyfurt (*Citrus paradisi*), Rutaceae (Turuncgiller) familyasına ait, subtropikal iklimlerde yetişen hem besinsel hem de fonksiyonel özellikleri bakımından dikkat çeken önemli bir narenciye türüdür. Bu meyve; organik asitler, şekerler ve özellikle fenolik bileşikler bakımından zengin olup sağlıklı beslenmeye katkıda bulunabilecek önemli bir fitokimyasal kaynağıdır (Garcia-Castello vd., 2015). Greyfurtun içerdiği naringin, hesperidin, neohesperidin, p-coumaric asit, narirutin, kateşin ve gallik asit gibi fenolik bileşikler ve flavonoidler, antioksidan kapasitenin oluşumunda önemli rol oynamakta olup bu bileşikler greyfurt kabuğunda da önemli düzeylerde bulunmaktadır (Islam vd., 2023; Ashraf vd., 2024). Greyfurt kabuğu ekstraktlarının antioksidan potansiyeli, 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH) ve 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit; ABTS) radikal giderme aktiviteleri ile demir (III) indirgeme antioksidan gücü (FRAP) gibi in vitro antioksidan kapasite analizleriyle ortaya konulmuş olup bu etkinliğin serbest radikal süpürme ve elektron/hidrojen aktarımı yoluyla oksidatif reaksiyonları sınırlandırabilme potansiyeli ile ilişkili olduğu bildirilmektedir (Garcia-Castello vd., 2015; Castro-Vazquez vd., 2016; Ashraf vd., 2024). Ayrıca, greyfurt kabuğunda bulunan fenolik bileşiklerin pro-oksidan metal iyonlarını şelatlayarak ve oksidatif değişikliklerden sorumlu bazı enzimatik reaksiyonları baskılayarak antioksidan koruma sağlayabildiği ifade edilmektedir (Nishad vd., 2018; Ashraf vd., 2024). Greyfurt kabuğu ekstraktının antioksidan özelliklerinin belirlenmesine yönelik in vitro çalışmalar bulunmakla birlikte (Garcia-Castello vd., 2015; Castro-Vazquez vd., 2016; Huang vd., 2020; Islam vd., 2023), et ürünlerinde doğal antioksidan olarak kullanımına yönelik sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır (Sayari vd., 2015; Nishad vd., 2018; Babaoğlu vd., 2022). Belirtilen sınırlı sayıda çalışma greyfurt kabuğu ekstraktının hindi ve keçi etinden üretilen

köfte ve soslerde antioksidan olarak kullanımına yönelik olup çig depolanan dana hamburger köftelerin oksidatif stabilitesi üzerine greylurt kabuğu ekstraktı kullanımının etkilerine yönelik bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu bağlamda, mevcut araştırmanın amacı çig olarak buzdolabı koşullarında depolanan dana hamburger köftelerin lipid ve protein oksidasyonu ile fizikokimyasal ve tekstürel özellikleri üzerine greylurt kabuğu ekstraktı kullanımının etkilerini değerlendirmektir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Araştırma kapsamında kullanılan kesim sonrası 24 saat dinlendirilmiş taze yağsız dana eti (*Musculus semimembranosus*) ve dana sırt yağı Isparta ilinde faaliyet gösteren yerel bir işletmeden (Gül Et) temin edilmiştir. Greylurt kabuğu ekstraktı hazırlanmasında kullanılan greylurt meyveleri (*Citrus paradisi*) ise yerel bir manavdan (Isparta, Türkiye) tedarik edilmiştir. Araştırma kapsamında kullanılan sentetik antioksidan olan bütillenmiş hidroksitoluen (BHT; Merck, Darmstadt, Almanya) ise Linder Analitik Ltd. Şti (Konya, Türkiye) firmasından tedarik edilmiştir.

Greylurt Kabuğu Ekstraktının (GKE) Hazırlanması

Greylurt meyveleri yıkandıktan sonra bir bıçak yardımıyla kabukları soyulmuştur. Çalışmada ekstrakt eldesi için greylurt kabuklarının flavedo ve albedo kısımları birlikte kullanılmıştır. Yüzey alanını artırmak ve kuruma süresini kısaltmak amacıyla kabuklar bir bıçak yardımıyla küçük parçalara (2-5 mm) ayrılmıştır. Daha sonra etüvde 40°C'de 72 saat süresince kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Kurutulmuş kabuk parçaları laboratuvar tipi bir parçalayıcı (Waring Commercial Blender) kullanılarak öğütülmüştür. Ekstrakt, Garcia-Castello vd. (2015) tarafından verilen yöntem modifiye edilerek ultrases-destekli etanol-su ekstraksiyonu ile elde edilmiştir. 5 g kurutulmuş greylurt kabuğu tozu 25 mL etanol-su (80:20 v/v) ile karıştırılmıştır. Karışım, bir homojenizatör (Ultra-Turrax T25, S25N-10G, IKA, Almanya) kullanılarak homojen hale getirildikten sonra, 40°C'de 180 dakika ultrases destekli su banyosunda (DK-600D Sonic Ultrasonic Cleaner, Çin; 40 kHz ve 180 W) bekletilerek ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen karışım 2000 rpm'de 5 dakika boyunca santrifüjlenmiş (Rotofix 32A, Hettich, Almanya) ve üst faz bir filtre kâğıdı (Whatman No.4) kullanılarak süzölmüştür. Süzöntü daha sonra, 45°C'ye ayarlanmış döner

buharlaştırıcıya (Rotary Evaporatör, Heidolph, Almanya) alınarak vakum altında çözgen uzaklaştırılmıştır. Konsantre greylurt kabuğu ekstraktı 24 saat süresince -80°C'de bekletilerek dondurulmuş ve ardından -55°C'de, 150 militor vakum basıncı altında bir liyofilizatör (Virtis K2 Benchtop, ABD) kullanılarak kurutulmuştur. Kurutulan greylurt kabuğu ekstraktları vakum ambalajlandıktan sonra araştırma kapsamında kullanılmaya kadar -80°C'de muhafaza edilmiştir.

Hamburger Köfte Üretimi ve Deneme Gruplarının Oluşturulması

Hamburger köftesi üretimi Kılıç vd. (2018) tarafından belirtilen yöntemle bazı modifikasyonlar uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Araştırma kapsamında hamburger köfte üretiminde kullanılan et materyali kaba yağlarından ve bağ dokularından temizlenerek kıyma makinesinin (PKM-22 kıyma makinesi, Arı Makine İnşaat San. ve Tic. Ltd. Şti., İstanbul) 9.5 mm ve 3.2 mm'lik aynalarından geçirilerek kıyma haline getirilmiştir. Formülasyonlar her deneme grubu için 1 kg hamburger köfte karışımı olacak şekilde tasarlanmıştır. Deneme gruplarına ait formülasyonlar Çizelge 1'de sunulmuştur. Hamburger köfte karışımı (1 kg) her deneme grubu için her bir tekrerde %70 dana eti, %15 sığır sırt yağı, %2 tuz, %6 galeta unu, %5 su, %0.75 sarımsak ve soğan tozu ile %0.25 oranında karabiber ile kırmızı biber tozu içerecek şekilde karıştırılarak hazırlanmıştır. Bu karışım yaklaşık 10 dakika boyunca el ile yoğurularak homojen bir karışım oluşması sağlanmıştır. Daha sonra elde edilen karışım deneme gruplarının oluşturulması amacıyla şansa bağlı olarak 4 eşit parçaya ayrılmıştır. Deneme grupları; herhangi bir işlem uygulanmayan kontrol grubu, %0.01 oranında BHT içeren deneme grubu (BHT) ile %0.5 ve %1 oranlarında greylurt kabuğu ekstraktı içeren deneme grupları (GKE-0.5 ve GKE-1.0) olacak şekilde tasarlanmıştır (Çizelge 1). Deneme grupları oluşturulduktan sonra hamburger köftelerine şekil vermek amacıyla hamburger köfte kalıpları kullanılarak (1 cm kalınlık ve 10 cm çap) ortalama 100 g ağırlığında hamburger köfteleri şekillendirilmiştir. Hazırlanan çig hamburger köfteler, strafor tepsilere (Alhas ambalaj, Türkiye) konulmuş ve 8 µm kalınlığa sahip polivinil klorür (PVC) filmle (oksijen geçirgenliği: 5000 cm³/m²/24 saat/bar; su buharı geçirgenliği: 169 g/m²/24 saat/bar) sarılmıştır. Ambalajlanan hamburger köfteler atmosferik koşullar altında 4°C'de 6 gün süreyle depolanmıştır. Araştırma üç farklı üretim gününde üç tekrerrürlü olarak bağımsız şekilde yürütölmüş ve her tekrerrürde, ölçölen tüm parametreler için

her bir deneme grubundan üç örnek analiz edilmiştir. Üretimin yapıldığı gün (0. gün) örneklerde nem, yağ, protein, kül, pH, renk, tekstür profil analizi (TPA), lipid hidroperoksit (LPO), tiyobarbitürik asit reaktif maddeler (TBARS) ve karbonil içeriği

analizleri gerçekleştirilmiştir. Depolama süresince (1., 3. ve 6. günler) ise pH, renk, LPO, TBARS ve karbonil içeriği analizleri yapılmıştır.

Çizelge 1. Hamburger köfte üretimi için formülasyonlar (%) ve grup kodları

Table 1. The formulations (%) for the production of hamburger patty and group codes

Hammaddeler ve katkı maddeleri (%)	Kontrol	BHT	GKE-0.5	GKE-1.0
Raw materials and additives (%)	Control	BHT	GPE-0.5	GPE-1.0
Dana eti (Yağsız) (Lean beef)	70	70	70	70
Sığır sırt yağı (Beef back fat)	15	15	15	15
BHT (BHT)	-	0.01	-	-
Greyfurt kabuğu ekstraktı (GKE) (Grapefruit peel extract (GPE))	-	-	0.5	1.0
Galeta Unu (Breadcrumbs)	6	6	6	6
Tuz (Salt)	2	2	2	2
Su (Water)	5	5	5	5
Soğan tozu (Onion powder)	0.75	0.75	0.75	0.75
Kırmızı biber tozu (Red pepper powder)	0.25	0.25	0.25	0.25
Karabiber (Black pepper)	0.25	0.25	0.25	0.25
Sarımsak tozu (Garlic powder)	0.75	0.75	0.75	0.75

*BHT: Bütillenmiş hidroksitoluen

* BHT: Butylated hydroxytoluene

Kimyasal Kompozisyon Analizleri

Çiğ hamburger köfte örneklerinin nem (950.46), yağ (991.36), protein (992.15) ve kül (920.153) içerikleri AOAC (1997) yöntemlerine göre belirlenmiştir.

pH Analizi

Çiğ örneklerden 5 g alınmış ve 50 mL distile saf su içerisinde karıştırılarak 1 dakika süresince bir homojenizatör (Ultra-Turrax T25, S25N-10G, IKA, Almanya) ile homojenize edilmiştir. Homojenize örneklerin pH'ı HI 2211 pH/ORP metre (Hanna Instruments, Almanya) kullanılarak belirlenmiştir (AOAC, 1990). pH metre, ölçümlerden önce pH 4.01 ve 7.01 değerlerine sahip standart tampon çözeltiler kullanılarak kalibre edilmiştir.

Renk Analizi

Çiğ hamburger köftelerin renk ölçümleri (CIE L*, a* ve b*) TCR200 Renk Ölçüm Cihazı (Beijing TIME High Technology Ltd., Çin; 10° standart gözlemci, D65 aydınlatıcı, 8 mm açıklık çapı) kullanılarak yapılmıştır (Kılıç vd., 2014). Renk analizi, her tekerrürde çiğ hamburger köftelerinin iç ve dış yüzeyinde altı farklı noktadan ölçümler alınarak gerçekleştirilmiştir.

Tekstür Profil Analizi (TPA)

Çiğ hamburger köfte örneklerinin TPA ölçümleri, CT3-25 kg Tekstür Analiz Cihazı (Brookfield Engineering Laboratories, Inc., ABD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz koşulları, 25 kg yük hücresi, örnek kalınlığı 1 cm, 0.7 cm batma derinliği (%70 kompresyon), test öncesi ile test sırasındaki prob hızı 1 mm/s ve test sonrası prob hızı 3 mm/s olacak şekilde uygulanmıştır. Analiz kapsamında sertlik (N), dış yapışkanlık (mJ), esneklik, iç yapışkanlık, elastikiyet, sakızimsılık (N) ve çiğnenebilirlik (N) değerleri belirlenmiştir (Caine vd., 2003).

LPO Analizi

Çiğ hamburger köfte örneklerinin LPO değerleri Shantha ve Decker (1994) tarafından gerçekleştirilmiş olan analiz prosedürü kullanılarak belirlenmiştir. 0.5 g örnek 50 mL'lik deney tüpüne aktarılmış ve örnek üzerine 5 mL kloroform/metanol (1:1) karışımı eklenerek 15 saniye süresince homojenize edilmiştir. Temiz bir deney tüpü içerisinde bulunan 5 mL kloroform/metanol (1:1) karışımı homojenizatörden geçirilerek karışım üzerine ilave edilmiştir. Bu karışıma, %0.5'lik NaCl çözeltisinden

3.08 mL eklenmiş ve 30 saniye boyunca vortekslenmiştir. 2000 rpm'de 6 dakika süresince santrifüj edilen karışımın iki faza ayrılması sağlanmıştır. Alt bölümde yer alan fazdan 2 mL alınarak üzerine 1.33 mL soğuk kloroform/metanol (1:1) karışımı eklenmiş ve vortekslenmiştir. Bu karışıma, 25 µL amonyum tiyosiyanat (4.38 M) ile 25 µL demir (II) klorid (18 mM) çözeltileri eklenmiş ve 2-4 saniye vortekslenmiştir. Örnekler, 20 dakika oda sıcaklığında karanlık bir ortamda inkübe edildikten sonra 500 nm'ye ayarlanmış bir spektrofotometrede (T80 UV/VIS Spektrofotometre, PG Instruments Ltd., İngiltere) absorbans değerleri okunmuştur. LPO değerlerinin belirlenmesi için cumene hidroperoksit kullanılarak standart kalibrasyon eğrisi hazırlanmıştır. LPO sonuçları µmol LPO/kg olarak verilmiştir.

TBARS Analizi

Çiğ hamburger köfte örneklerinin TBARS değerleri Kılıç vd. (2014) tarafından gerçekleştirilen analiz yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. 2 g örnek, 12 mL trikloroasetik asit (TCA) ekstraksiyon çözeltilisi ile karıştırılmış ve 13500 rpm'de Ultra-Turrax T25 model bir homojenizatör (S25N-10G, IKA, Almanya) kullanılarak homojenize edilmiştir. Homojenize örnekler, filtre kağıdından (Whatman no:1) süzülmuş ve süzüntüden 1 mL alınarak üzerine 1 mL tiyobarbitürik asit (TBA) solüsyonu eklenmiştir. Karışımlar, kuru blok ısıtıcı (Thermo Bath ALB64 FINEPCR, Güney Kore) kullanılarak 100°C'de 40 dakika boyunca inkübe edilmiştir. Oda sıcaklığına kadar soğutulan karışımlar 2000xg'de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Süpernatanta ait absorbans değerleri, 532 nm dalga boyuna ayarlanmış bir spektrofotometrede okunarak elde edilmiştir. TBARS değerleri, 1,1,3,3-tetraetoksipropen (TEP) kullanılarak hazırlanan standart kalibrasyon eğrisi kullanılarak hesaplanmış ve analiz sonuçları µmol MDA/kg olarak verilmiştir.

Toplam Karbonil İçeriği Analizi

Çiğ hamburger köfte örneklerinin toplam protein karbonil içerikleri Wazir vd. (2021) tarafından belirtilen 2,4-dinitrofenil hidrazin (DNPH) ile türevlendirme prosedürüne bazı modifikasyonlar uygulanarak belirlenmiştir. 1 g çiğ hamburger köfte örneği 10 mL sodyum fosfat tampon çözeltilisi (0.6 M NaCl) ile homojenize edilmiştir. Homojenize karışımdan 4 ayrı eppendorf tüpüne 0.2 mL aktarılmıştır. Tüplere proteini çöktürmek amacıyla 1 mL soğuk %10'luk trikloroasetik asit (TCA) çözeltilisi ilave edilmiştir. Tüpler 4500 g'de 3 dakika santrifüje tabi tutulmuş ve elde edilen supernatant uzaklaştırılmıştır. Tüplerden ikisinde oluşan çökelteye 1 mL HCl (2 M; A:kör), diğer ikisine ise 1 mL %0.2 DNPH içeren HCl (2

M; B:örnek) çözeltileri ilave edilmiş ve vortex ile karıştırılmıştır. Oda sıcaklığında 1 saat bekletildikten sonra tüplere 0.5 mL %20 TCA çözeltilisi eklenmiş ve tüpler 4500 g'de 3 dakika santrifüje tabi tutulmuştur. Santrifüj işlemi sonrasında supernatant uzaklaştırılmış ve elde edilen çökelteye fazla DNPH, çökeltilinin 1 mL etanol:etil asetat (1:1, v/v) karışımı ile 3 kez yıkanmasıyla uzaklaştırılmıştır. Her yıkama aşamasında tüpler 4500 g'de 3 dakika santrifüj edilmiştir. Çökeltiler 1.5 mL 6 M guanidine HCl (20 mM sodyum fosfat tampon, pH 6.5) içerisinde çözölmüş ve 4500 g'de 2 dakika santrifüj edilmiştir. Karbonil konsantrasyonu (protein hidrazonları) için 370 nm'de ve protein konsantrasyonu için 280 nm'de absorbansları boş örneğe (guanidine HCl) karşı spektrofotometre (T80 UV/VIS, PG Instruments, İngiltere) kullanılarak okunmuştur. Karbonil içeriği, protein hidrazonları için molar absorptivite (22 000 M⁻¹ cm⁻¹) ile hidrazon pik kuyruğu örtüşmesi için düzeltme faktörü (0.43) kullanılarak aşağıda verilen denkleme göre hesaplanmıştır. Karbonil içeriği sonuçları nmol/mg protein olarak verilmiştir.

$$\text{Karbonil içeriği (nmol/mg protein)} = \frac{A_{370}(\text{örnek}) - A_{370}(\text{kör})}{22000 \times [A_{280}(\text{örnek}) - (A_{370}(\text{örnek}) - A_{370}(\text{kör}) \times 0.43)]} \times 10^6$$

İstatistiksel Analizler

Çalışma, üç tekerrürlü olarak tesadüf blokları deneme desenine göre yürütülmüştür. Ayrıca, her bir analiz üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Araştırmada renk, pH, TBARS, LPO ve karbonil içeriği ölçümleri 4x4 faktöriyel düzende gerçekleştirilmiştir. Deneme grupları (Kontrol, BHT, GKE-0.5 ve GKE-1.0) ve depolama süresi (0, 1, 3 ve 6 gün) sabit faktörler olarak seçilmiştir. Araştırma kapsamında gerçekleştirilen tekerrürler ve analizlerdeki paralel sayıları ise rastgele etkiler olarak belirlenmiştir. Bağımsız değişken faktörlerin (deneme grupları ve depolama süresi) bağımlı değişkenler olan pH, renk, TBARS, LPO ve karbonil içeriği analizleri üzerine olan esas etkileri ile ikili interaksiyonları belirlenmiştir. Araştırma sonucunda elde edilen veriler Minitab 17.3.1 (Minitab Statistical Software, ABD) istatistik paket programında genelleştirilmiş doğrusal karma model (GLMM) yöntemi kullanılarak varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuştur. Nem, protein, yağ, kül ve tekstür profil analizlerinden elde edilen veriler, aynı istatistik paket programı kullanılarak tek yönlü varyans analizine (one-way ANOVA) tabi tutulmuştur. Sonuçlar, ortalama ± standart sapma (SD) olarak verilmiştir. Farklılıkların istatistiksel anlamlılığı Tukey HSD testi kullanılarak değerlendirilmiştir ($P < 0.05$). Ayrıca, hamburger köftelerde gerçekleştirilen oksidasyon

testleri ile pH ve renk özellikleri arasındaki ilişkileri incelemek amacıyla Minitab 17.3.1 istatistik programı kullanılarak Pearson korelasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan tüm parametreler arasındaki anlamlı ilişkileri belirlemek için korelasyon matrisleri oluşturulmuştur. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $P<0.01$ ve $P<0.05$ olarak belirlenmiştir.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Kimyasal Kompozisyon Analiz Sonuçları

Hamburger köfte örneklerine ait kimyasal kompozisyon analiz sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre nem, protein, yağ ve kül içerikleri sırasıyla %60.52 ile %61.05, %18.80 ile %18.97, %15.76 ile %16.43 ve %3.55 ile %3.68 aralıklarında tespit edilmiştir. Köfte örnekleri arasında nem, protein ve yağ değerleri açısından önemli bir fark

belirlenmemiştir ($P>0.05$). BHT grubunda kontrol grubuna göre daha yüksek kül içeriği belirlenirken ($P<0.05$), diğer gruplar arasında kül içerikleri açısından önemli bir fark tespit edilmemiştir ($P>0.05$). Benzer olarak, Bambeni vd. (2021) mandalina posası ekstraktı içeren çiğ sığır kıymalarında kontrol grubuna göre nem, protein, yağ ve kül değerleri açısından önemli bir fark tespit edilmediğini rapor etmişlerdir. Nupur vd. (2022) portakal kabuğu ekstraktı ve BHT içeren gruplar ile kontrol grubu arasında protein değerleri açısından önemli bir farkın olmadığını belirtmişlerdir. Ayrıca, Xu vd. (2024) portakal kabuğu ekstraktı içeren ızgara domuz köftelerinde kontrol grubuna göre nem, protein ve kül değerleri açısından bir farkın olmadığını bildirmişlerdir.

Çizelge 2. Farklı oranlarda GKE içeren çiğ hamburger köftelerine ait kimyasal kompozisyon analiz sonuçları (%)
Table 2. Chemical composition analysis results (%) of raw hamburger patties containing different ratios of GPE

Gruplar (Groups)	Nem (%) (Moisture (%))	Protein (%) (Protein (%))	Yağ (%) (Fat (%))	Kül (%) (Ash (%))
Kontrol (Control)	60.56 ^a ±0.63	18.97 ^a ±0.88	16.19 ^a ±0.87	3.55 ^b ±0.11
BHT (BHT)	60.52 ^a ±1.18	18.80 ^a ±1.01	16.43 ^a ±0.61	3.68 ^a ±0.06
GKE-0.5 (GPE-0.5)	61.05 ^a ±0.90	18.92 ^a ±0.78	15.76 ^a ±0.63	3.60 ^{ab} ±0.07
GKE-1.0 (GPE-1.0)	60.85 ^a ±1.16	18.88 ^a ±1.08	15.91 ^a ±0.52	3.57 ^{ab} ±0.09

Sonuçlar, ortalama ve standart sapma (SD) olarak verilmiştir. ^{a-b}Aynı sütunda farklı harfleri taşıyan ortalama değerler birbirinden anlamlı derecede farklıdır ($P<0.05$). Kontrol: BHT veya GKE içermeyen deneme grubu; BHT: %0.01 oranında BHT içeren deneme grubu; GKE-0.5: %0.5 oranında GKE içeren deneme grubu; GKE-1.0: %1 oranında GKE içeren deneme grubu; GKE: Greyfurt kabuğu ekstraktı; BHT: Bütillenmiş hidroksitoluen

Results are presented as mean $\pm$ standard deviation (SD). ^{a-b}Means within the same column with different superscript letters are significantly different ($P<0.05$). Control: treatment without BHT or GPE; BHT: treatment containing 0.01% BHT; GKE-0.5: treatment containing 0.5% GKE; GPE-1.0: treatment containing 1.0% GPE. GPE: Grapefruit peel extract; BHT: Butylated hydroxytoluene

pH

Farklı oranlarda GKE içeren çiğ hamburger köfte örneklerine ait pH analiz sonuçları Çizelge 3’te sunulmuştur. Hamburger köfte örneklerine ait pH değerlerinin üretim günü (0. gün) 5.58 ile 5.63 aralığında, depolama sonu olan 6. günde ise 5.16 ile 5.37 aralığında değiştiği görülmüştür. Depolama sürecinin 3. gününe kadar GKE içeren gruplarda kontrol ve BHT gruplarına göre daha düşük pH değerleri belirlenirken, depolama sonunda daha yüksek pH değerleri tespit edilmiştir ($P<0.05$). Benzer olarak, mandalina, limon, portakal ve greyfurt posa ile kabuklarından elde edilen toz veya ekstraktların ilave edildiği tavuk ve dana köfteleri ile kuzu kaburga örneklerinde pH düşüşüne neden

olduğu daha önce gerçekleştirilen çalışmalarda rapor edilmiştir (Dua vd., 2015; İbrahim vd., 2018; Bambeni vd., 2021; Abdel-Naeem vd., 2022). Bambeni vd. (2021) ekstraktların güçlü asidik yapısının dana köftelerinin son pH’ı üzerinde etkili olduğunu bildirmiştir. Diğer taraftan, Bae vd. (2025) ve Babaoğlu vd. (2022) tarafından yapılan çalışmalarda turuncgil ekstraktı içeren domuz sosisleri ile hindi köftelerinde pH değerleri açısından kontrol grubuna göre önemli bir farkın oluşmadığı belirtilmiştir. Bae vd. (2025) ilave edilen turuncgil kabuğu ekstraktlarının hafif asidik (4.90-5.38) bir özellik göstermesine rağmen etin doğal tamponlama kapasitesi sayesinde dış asidik etkilere karşı pH stabilizasyonu sağladığını bildirmiştir. Çalışmalarda kullanılan et materyali ile ürün formülasyonlarındaki farklılıklar, turuncgil çeşidi, turuncgilin formu (taze, ekstrakt ve toz vb.) ve eklenme

oranındaki farklılıklar pH değişimleri üzerinde varyasyonların oluşmasına neden olabilmektedir. Bu çalışmada, GKE içeren hamburger köfte örneklerinde depolamanın ilk üç günü önemli bir pH farklılığı tespit edilmezken ($P>0.05$), depolama sonunda GKE-1.0 grubunda GKE-0.5 grubuna göre daha yüksek pH değeri belirlenmiştir ($P<0.05$). Kontrol ve BHT grupları arasında ise depolamanın 0., 3. ve 6. günlerinde önemli bir fark tespit edilmezken ($P>0.05$), depolamanın 1. gününde BHT grubunda kontrole göre daha yüksek pH değeri tespit edilmiştir ($P<0.05$). Depolama süreci açısından pH değerleri incelendiğinde, depolamanın 3. gününe kadar hamburger köfte örneklerinin pH değerlerinde genel olarak önemli bir değişim tespit edilmezken ($P>0.05$), depolama sonu olan 6. günde tüm grupların pH değerleri önemli düzeyde azalmıştır ($P<0.05$). Ancak, GKE

içeren gruplarda pH'nın düşüş oranı diğer gruplarda meydana gelenden daha düşük kalmıştır. Benzer şekilde, turuncgil ekstraktı içeren et ve et ürünlerinde depolama sürecinde pH değerlerinde düşüş meydana geldiği Haque vd. (2020) ve Bambeni vd. (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda da rapor edilmiştir. Depolamanın 6. gününde tüm örneklerde meydana gelen pH düşüşü laktik asit bakterilerinin faaliyetinden kaynaklanmış olabilir (Klangpetch vd., 2016). GKE içeren hamburger köfte örneklerinde pH düşüş oranının daha az gerçekleşmiş olması eklenen ekstraktların içermiş oldukları fitokimyasallar sayesinde bozulmaya neden olan mikroorganizmaların, özellikle laktik asit bakterilerinin çoğalmasını baskılayan antibakteriyel özellikleri ile ilişkilendirilebilir (Bambeni vd., 2021).

Çizelge 3. Farklı oranlarda GKE içeren çiğ hamburger köftelerine ait pH değerleri

Table 3. pH values of raw hamburger patties containing different ratios of GKE

Gruplar (Groups)	Depolama süresi (Gün) (Storage period (Days))			
	0	1	3	6
Kontrol (Control)	5.61 ^{bc} ±0.01	5.62 ^b ±0.01	5.64 ^{ab} ±0.02	5.16 ^h ±0.02
BHT (BHT)	5.63 ^{ab} ±0.01	5.64 ^a ±0.01	5.61 ^b ±0.01	5.17 ^h ±0.04
GKE-0.5 (GPE-0.5)	5.58 ^{de} ±0.01	5.59 ^{cd} ±0.01	5.57 ^{de} ±0.01	5.33 ^g ±0.03
GKE-1.0 (GPE-1.0)	5.58 ^{de} ±0.01	5.59 ^{cd} ±0.01	5.56 ^e ±0.01	5.37 ^f ±0.01

Sonuçlar, ortalama ve standart sapma (SD) olarak verilmiştir. ^{a-h}Çizelgede farklı harflerle verilen ortalama değerler birbirinden anlamlı derecede farklıdır ($P<0.05$). Kontrol: BHT veya GKE içermeyen deneme grubu; BHT: %0.01 oranında BHT içeren deneme grubu; GKE-0.5: %0.5 oranında GKE içeren deneme grubu; GKE-1.0: %1 oranında GKE içeren deneme grubu; GKE: Greyfurt kabuğu ekstraktı; BHT: Bütilenmiş hidroksitoluen

Results are presented as mean $\pm$ standard deviation (SD). ^{a-h}Means within the table with different superscript letters are significantly different ($P<0.05$). Control: treatment without BHT or GPE; BHT: treatment containing 0.01% BHT; GPE-0.5: treatment containing 0.5% GPE; GPE-1.0: treatment containing 1.0% GKE. GPE: Grapefruit peel extract; BHT: Butylated hydroxytoluene

Renk

Farklı oranlarda GKE içeren çiğ hamburger köfte örneklerinin iç ve dış yüzeyinden elde edilen renk analizi sonuçları Çizelge 4'de verilmiştir. Depolama başlangıcı olan 0. günde, GKE içeren gruplarda kontrol ve BHT gruplarına göre hem iç hem de dış yüzeyde daha yüksek L*, a* ve b* değerleri belirlenmiştir ($P<0.05$). Kontrol ve BHT grupları arasında L*, a* ve b* değerleri açısından önemli bir fark tespit edilmemiştir. GKE-0.5 ve GKE-1.0 grupları arasında ise L* ve a* açısından önemli bir fark tespit edilmezken, GKE-

1.0 grubunda GKE-0.5 grubuna göre daha yüksek iç ve dış yüzey b* değerleri belirlenmiştir ($P<0.05$). Mevcut L* değeri sonuçları, Abd El-Khalek ve Zahran (2013) tarafından portakal ve greyfurt kabuğu tozu içeren sığır kıymalarında tespit edilen değerler ile uyumludur. Benzer olarak, Nishad vd. (2018) keçi köftesine greyfurt kabuğu ekstraktı ilavesi sonucunda a* ve b* değerlerinin arttığını rapor etmiştir. Bu çalışmada, depolamanın 1. gününde BHT grubunda GKE içeren gruplar ve kontrole göre, 3. günde ise BHT ve GKE içeren gruplarda kontrole göre daha yüksek L*(iç) değerleri tespit edilirken ($P<0.05$), 6. günde gruplar arasında L*(iç) değerleri açısından önemli bir fark tespit edilmemiştir ($P>0.05$). Diğer taraftan, depolama süresince

GKE içeren gruplarda kontrole göre daha yüksek L^* (dış) değerleri belirlenmiştir ($P<0.05$). Depolamanın 1. gününde GKE-1.0 grubunda BHT'ye göre daha yüksek L^* (dış) değeri tespit edilirken ($P<0.05$), depolama sürecinin devamında (3. ve 6. günler) BHT ve GKE içeren gruplar arasında L^* (dış) değerleri açısından önemli bir fark görülmemiştir ($P>0.05$). Bae vd. (2025) mandalina ve portakal kabuğu ekstraktının domuz sosislerinde L^* değerlerini azalttığını, Chappalwar vd. (2021) limon kabuğu tozunun tavuk köftelerinde L^* değerini artırdığını, Babaoğlu vd. (2022) ile Nishad vd. (2018) ise hindi ve keçi köftelerinde greyfurt kabuğu ekstraktının L^* değerleri üzerinde önemli bir değişime neden olmadığını rapor etmişlerdir. L^* değerlerindeki değişimlere yönelik bu varyasyon kullanılan et materyali, ürün formülasyonu, su içeriği, turuncgil çeşidi, ekstrakt veya tozun kullanım konsantrasyonu dahil olmak üzere birçok faktörle ilişkilidir (Abd El-Khalek ve Zahran, 2013). Depolama sürecinin etkisi açısından bakıldığında kontrol, GKE-0.5 ve GKE-1.0 gruplarına ait L^* (iç) değerleri depolamanın ilk üç günü önemli bir değişim sergilememiştir ($P>0.05$). 6. günde BHT ve GKE-0.5 gruplarının L^* (iç) değerlerinde önemli düzeyde artış meydana gelirken, GKE-1.0 grubunda ise 6. günde 1. güne göre bir artış olduğu görülmüştür ($P<0.05$). BHT grubunda ise depolamanın 1. gününde L^* (iç) değerleri artarken ($P<0.05$), depolama sürecinin devamında genel olarak önemli bir değişim görülmemiştir ($P>0.05$). L^* (dış) değerlerine bakıldığında kontrol, GKE-0.5 ve GKE-1.0 gruplarında genel olarak depolama süresince önemli bir değişim görülmezken ($P>0.05$), BHT grubunda depolamanın 3. gününde 0. güne göre ve 6. günde L^* (dış) değerleri önemli düzeyde artış göstermiştir ($P<0.05$). Babaoğlu vd. (2022) ile Bambeni vd. (2021) greyfurt kabuğu ve mandalina posası ekstraktı içeren hindi köfteleri ile sığır kıymalarında depolama süresince kontrol grubuna göre L^* değerlerinin değişmediğini rapor etmişlerdir. Nishad vd. (2018) greyfurt kabuğu ekstraktı içermeyen keçi köftelerinde depolama süresince L^* değerlerinin artış gösterdiğini, greyfurt kabuğu ekstraktı içeren örneklerde ise önemli bir değişimin olmadığını bildirmiştir. Diğer taraftan, Nupur vd. (2022) portakal kabuğu ekstraktının sığır kıymalarında depolama süresince L^* değerlerinde artışa neden olduğunu belirtmiştir.

GKE içeren hamburger köftelerde depolama süresince kontrol grubuna göre daha yüksek iç ve dış (6. gün hariç) yüzey a^*

değerleri belirlenmiştir ($P<0.05$). 6. günde GKE-1.0 grubunda kontrole göre daha yüksek a^* (dış) değeri belirlenirken ($P<0.05$), GKE-0.5 ile kontrol grubu arasında önemli bir fark tespit edilmemiştir ($P>0.05$). GKE içeren örneklerde (6. gün GKE-0.5 hariç) BHT'ye göre genel olarak daha yüksek a^* (iç) değerleri görülmüştür ($P<0.05$). Diğer taraftan, depolama süresince GKE-1.0 grubunda BHT'ye göre, GKE-0.5 grubunda ise üretim günü (0. gün) ve depolamanın 3. gününde BHT'ye göre daha yüksek a^* (dış) değerleri belirlenmiştir ($P<0.05$). Dana, keçi ve tavuk köftelerine limon, portakal, mandalina ve greyfurt kabuğu tozu veya ekstraktı ilavesi sonucunda a^* değerlerinin artış gösterdiğine yönelik benzer sonuçlar daha önce yapılan çalışmalarda rapor edilmiştir (Nishad vd., 2018; Bambeni vd., 2021; Abdel-Naeem vd., 2022). Nupur vd. (2022) a^* değerindeki bu artışın, portakal ve limon gibi turuncgil kabuklarında bulunan sarı ve kırmızı renk bileşenleri ile ilişkili olduğunu belirtmiştir. Diğer taraftan, Babaoğlu vd. (2022) hindi köftesine eklenen greyfurt kabuğu ekstraktının a^* değerleri üzerinde önemli bir değişikliğe neden olmadığını ifade etmiştir. Bu çalışmada, kontrol ve BHT arasında a^* (dış) değerleri açısından depolama süresince önemli bir fark tespit edilmezken ($P>0.05$), depolamanın 1. ve 6. günlerinde BHT'de kontrole göre daha yüksek a^* (iç) değerleri belirlenmiştir ($P<0.05$). GKE-1.0 ve GKE-0.5 gruplarının a^* (dış) değerleri arasında önemli bir fark görülmezken ($P>0.05$), GKE-1.0 grubunda depolamanın 3. ve 6. günlerinde GKE-0.5'e göre daha yüksek a^* (iç) değerleri belirlenmiştir ($P<0.05$). Tüm gruplarda genel olarak depolama süresince a^* değerleri azalış göstermiştir ($P<0.05$). Tüm gruplarda depolamanın 1. gününde hem a^* (iç) hem de a^* (dış) değerlerinde önemli düzeyde düşüş meydana gelmiştir ($P<0.05$). GKE-0.5 grubunda a^* (iç) değeri 3. günde azalır ($P<0.05$), 6. günde değişim göstermezken, a^* (dış) değerinde ise 6. günde bir düşüş meydana gelmiştir ($P<0.05$). GKE-1.0 grubunda a^* (iç) değeri depolamanın 6. gününde 1. güne göre düşüş gösterirken ($P<0.05$), a^* (dış) değerleri 3. güne kadar önemli düzeyde azalmış ($P<0.05$) ancak 6. günde önemli bir değişim sergilememiştir ($P>0.05$). Daha önce yapılan çalışmalarda da benzer olarak, limon, portakal ve greyfurt kabuğundan elde edilen toz veya ekstraktların ilave edildiği dana, tavuk, hindi ve keçi köfteleri ile dana kıymasında depolama süresince a^* değerlerinde düşüş meydana geldiği rapor edilmiştir (Nishad vd., 2018; Bambeni

vd., 2021; Nupur vd., 2022; Abdel-Naeem vd., 2022; Babaoğlu vd., 2022). Depolama esnasında a^* değerlerinde meydana gelen azalmalar miyogloblin oksidasyonuna bağlı metmiyogloblin birikimi ile ilişkilendirilmiştir (İbrahim vd., 2018; Bambeni vd., 2021). Ashour vd. (2013) doğal antioksidan içeren dana köftelerinde depolama esnasında metmiyogloblin oluşumu nedeniyle a^* değerlerinin azaldığını rapor etmiştir. Kontrol grubunda depolamanın 1. ve 3. günlerinde iç ve dış yüzey a^* değerlerinde önemli bir değişim tespit edilmmezken ($P>0.05$), 6. günde 3. güne kıyasla $a^*(iç)$, 1. güne kıyasla $a^*(dış)$ değerleri azalış göstermiştir ($P<0.05$). BHT içeren köftelerde iç ve dış yüzey a^* değerleri 3. güne kadar düşüş gösterirken ($P<0.05$), 6. günde önemli bir değişim sergilememiştir ($P>0.05$).

GKE içeren gruplarda 0., 3. ve 6. günlerde kontrol ve BHT (3. gün GKE-1.0 hariç) gruplarına göre daha yüksek $b^*(iç)$ değerleri belirlenirken ($P<0.05$), 1. günde GKE içeren örnekler ile kontrol ve BHT arasında önemli bir fark tespit edilmemiştir ($P>0.05$). GKE içeren örneklerin $b^*(dış)$ değerleri 0. ve 1. günlerde BHT ve kontrol gruplarında belirlenen değerlere göre daha yüksek iken ($P<0.05$), depolama sürecinin devamında önemli bir fark tespit edilmemiştir ($P>0.05$). Araştırmalar limon, portakal, mandalina ve greyfurt gibi turuncgillerin kabuk veya posalarından elde edilen toz veya ekstraktların et ve et ürünlerine ilavesi sonucunda b^* değerlerinde artış olduğunu göstermektedir (Nishad vd., 2018; Bambeni vd., 2021; Abdel-Naeem vd., 2022; Nupur vd., 2022). Turuncgil kabuğu ekstraktının et ürünlerinde b^* değerini artırması nihai ürüne sarımsı renk verebilen karotenoidler ve flavonoidler gibi turuncgil kabuğu kaynaklı pigmentlerin varlığına bağlanabilir (İbrahim vd., 2018; Bae vd., 2025). Wedamulla vd. (2022) turuncgil kabuklarının β -karoten, likopen ve antosiyaninler gibi yağda çözünen karotenoidler ve suda çözünen sarı pigmentler ihtiva ettiğini, ayrıca toplam pigment içeriğinin kabukta etli kısımdan daha yüksek olduğunu rapor etmiştir. Bu çalışmada, depolama süresince kontrol ve BHT grupları arasında iç ve dış yüzey b^* değerleri açısından önemli bir fark belirlenmemiştir ($P>0.05$). Üretim günü, GKE-1.0 grubunda GKE-0.5'e göre daha yüksek iç ve dış yüzey b^* değerleri belirlenirken,

depolamanın 3. ve 6. günlerinde GKE-1.0'da GKE-0.5'e göre daha düşük $b^*(iç)$ değerleri tespit edilmiştir ($P<0.05$). Depolama süresince $b^*(dış)$ değerleri açısından GKE-1.0 ile GKE-0.5 grupları arasında bir fark görülmemiştir ($P>0.05$). İç ve dış yüzey b^* değerleri üzerine depolama sürecinin etkileri incelendiğinde, GKE-1.0 grubunda $b^*(iç)$ değerleri, GKE içeren köfte örneklerinde ise $b^*(dış)$ değerleri depolama süresince değişim göstermemiştir ($P>0.05$). GKE-0.5 grubunda $b^*(iç)$ değerleri 3. güne kadar artarken ($P<0.05$), 6. günde önemli bir değişim sergilememiştir ($P>0.05$). BHT grubunda 1. günde $b^*(iç)$, 3. günde ise $b^*(dış)$ değerleri artış gösterirken ($P<0.05$), depolama sürecinin devamında önemli bir değişim görülmemiştir ($P>0.05$). Kontrol grubunda ise depolamanın 1. gününde $b^*(iç)$, 3. ve 6. günlerinde ise $b^*(dış)$ değerlerinde artış meydana gelmiştir ($P<0.05$). GKE içeren hamburger köfte örneklerinde depolama süresince b^* değerlerinde genel olarak önemli değişimlerin gerçekleşmemiş olması lipit oksidasyonunun daha düşük seviyede olması ile ilişkili olabilir (Nupur vd., 2022). Babaoğlu vd. (2022) greyfurt kabuğu ekstraktı içeren hindi köftelerinde depolama süresince b^* değerlerinde önemli bir değişim tespit etmemişlerdir. Abd El-Khalek ve Zahran (2013) mandalina kabuğu tozu içeren sığır kıymalarında depolama süresince b^* değerlerinin arttığını, bu artış üzerinde pH, oksidasyon derecesi ve su aktivitesi gibi özelliklerdeki değişimlerin etkili olduğunu ifade etmiştir. Tayengwa vd. (2020) ise turuncgil posası ile beslenen sığırlardan elde edilen etlerin soğukta depolanması esnasında b^* değerlerinin depolamanın 5. gününe kadar artış gösterdiğini, depolama sürecinin devamında ise düşüş gösterdiğini belirtmişlerdir. Diğer taraftan, Nupur vd. (2022) ile Nishad vd. (2018) tarafından yapılan çalışmalarda portakal ve greyfurt kabuğu ekstraktı içeren dana kıyması ve keçi köftelerinde depolama süresince b^* değerlerinin azaldığı rapor edilmiştir. Abdel-Naeem vd. (2022) depolama süresince turuncgil kabuğu tozu içeren tavuk köftelerinde b^* değerlerinin azaldığını ancak bu azalışın kontrol grubunda daha belirgin olduğunu ifade etmiştir.

Çizelge 4. Farklı oranlarda GKE içeren çiğ hamburger köftelerine ait renk analizi değerleri

Table 4. Color values of raw hamburger patties containing different ratios of GKE

Gruplar (Groups)	Depolama Süresi (Gün) Storage duration (Days)				Gruplar Groups	Depolama Süresi (Gün) Storage duration (Days)			
	0	1	3	6		0	1	3	6
L*(İç)	Kontrol Control	38.8 ^{gh} ±2.9	39.5 ^{gh} ±0.9	40.4 ^{efg} ±2.2	43.6 ^{abc} ±1.0	Kontrol Control	38.9 ^{gh} ±1.1	39.3 ^{efg} ±1.5	39.5 ^{def} ±1.1
	BHT BHT	38.3 ^h ±2.2	44.5 ^{ab} ±1.3	43.4 ^{bc} ±0.7	45.4 ^a ±2.4	BHT BHT	37.8 ^h ±1.9	39.8 ^{e-f} ±0.9	41.2 ^{ab} ±0.5
	GKE-0.5 GPE-0.5	42.1 ^{cd} ±2.0	41.3 ^{def} ±0.9	42.8 ^{bcd} ±1.5	45.4 ^a ±1.6	L*(Dış) GKE-0.5 GPE-0.5	41.4 ^{ab} ±1.6	40.7 ^{bcd} ±1.7	41.3 ^{ab} ±0.8
	GKE-1.0 GPE-1.0	42.5 ^{cd} ±1.0	41.0 ^{def} ±0.3	43.0 ^{bcd} ±1.4	44.6 ^{ab} ±1.8	GKE-1.0 GPE-1.0	42.3 ^a ±0.8	41.0 ^{abc} ±1.0	42.1 ^a ±1.3
a*(İç)	Depolama Süresi (Gün) Storage duration (Days)				Depolama Süresi (Gün) Storage duration (Days)				
	0	1	3	6	0	1	3	6	
	Kontrol Control	16.2 ^{bc} ±2.2	11.9 ^{fg} ±0.7	12.4 ^f ±1.3	10.5 ^g ±1.1	Kontrol Control	15.6 ^b ±1.7	12.3 ^{de} ±1.3	10.7 ^{ef} ±1.8
	BHT BHT	16.9 ^b ±1.5	14.0 ^{de} ±1.8	12.3 ^f ±1.8	12.4 ^f ±0.7	BHT BHT	16.3 ^b ±1.1	13.2 ^{cd} ±2.0	10.8 ^{ef} ±1.7
	GKE-0.5 GPE-0.5	24.1 ^a ±1.6	17.1 ^b ±1.3	14.3 ^{de} ±1.0	13.3 ^{ef} ±1.0	GKE-0.5 GPE-0.5	23.5 ^a ±1.4	14.7 ^{bc} ±1.9	13.2 ^{cd} ±2.1
b*(İç)	GKE-1.0 GPE-1.0	23.0 ^{ab} ±0.8	17.3 ^b ±1.8	16.0 ^{bc} ±1.8	14.9 ^{cd} ±0.8	GKE-1.0 GPE-1.0	22.1 ^a ±0.4	15.1 ^b ±1.2	13.0 ^d ±1.4
	Depolama Süresi (Gün) Storage duration (Days)				Depolama Süresi (Gün) Storage duration (Days)				
	0	1	3	6	0	1	3	6	
	Kontrol Control	8.2 ^h ±1.0	10.2 ^{e-g} ±2.2	9.9 ^{efg} ±0.9	9.5 ^e ±0.9	Kontrol Control	8.3 ^{de} ±0.6	8.0 ^e ±0.5	9.1 ^{cd} ±0.9
	BHT BHT	7.6 ^h ±1.1	10.4 ^{e-g} ±0.3	10.9 ^{cde} ±0.4	9.8 ^{fg} ±0.7	BHT BHT	7.9 ^e ±0.6	8.4 ^{de} ±1.5	10.0 ^{abc} ±1.3
b*(İç)	GKE-0.5 GPE-0.5	9.4 ^g ±1.6	10.6 ^{e-f} ±0.6	12.1 ^{ab} ±0.7	12.9 ^a ±1.2	GKE-0.5 GPE-0.5	9.5 ^{bc} ±0.8	10.1 ^{abc} ±0.7	10.0 ^{abc} ±1.4
	GKE-1.0 GPE-1.0	10.6 ^{c-f} ±1.2	10.3 ^{d-g} ±0.7	11.0 ^{cd} ±0.6	11.6 ^{bc} ±1.1	GKE-1.0 GPE-1.0	10.6 ^a ±1.3	9.6 ^{abc} ±1.2	10.1 ^{abc} ±1.0
									10.4 ^{ab} ±0.8

Sonuçlar, ortalama ve standart sapma (SD) olarak verilmiştir. ^{a-f}Çizelgede belirtilen her bir renk özelliği için farklı harflerle gösterilen ortalama değerler birbirinden anlamlı derecede farklıdır ($P<0.05$). Kontrol: BHT veya GKE içermeyen deneme grubu; BHT: %0.01 oranında BHT içeren deneme grubu; GKE-0.5: %0.5 oranında GKE içeren deneme grubu; GKE-1.0: %1 oranında GKE içeren deneme grubu; GKE: Greyfurt kabuğu ekstraktı; BHT: Bütilenmiş hidroksitoluen.

Results are presented as mean $\pm$ standard deviation (SD). ^{a-f}For each color attribute specified in the table, means with different superscript letters are significantly different ($P<0.05$). Control: treatment without BHT or GPE; BHT: treatment containing 0.01% BHT; GPE-0.5: treatment containing 0.5% GPE; GPE-1.0: treatment containing 1.0% GPE. GPE: Grapefruit peel extract; BHT: Butylated hydroxytoluene.

Tekstür Profil Analizi

Hamburger köfte örneklerinde gerçekleştirilen tekstür profil analizine ait sonuçlar Çizelge 5'de verilmiştir. Araştırma sonuçları incelendiğinde GKE içeren gruplarda kontrol ve BHT gruplarına göre daha düşük sertlik değerleri tespit edilmiştir ($P<0.05$). Diğer taraftan, ilave edilen GKE oranındaki artış sertlik değerleri üzerinde önemli bir değişime neden olmamıştır ($P>0.05$). Kontrol grubu GKE içeren gruplara göre daha yüksek sakızimsılık değerine sahipken ($P<0.05$), BHT ile kontrol grubu arasında sakızimsılık değerleri açısından önemli bir fark belirlenmemiştir ($P>0.05$). Ayrıca GKE-0.5 grubunda BHT grubuna göre daha düşük sakızimsılık değeri tespit edilmiştir ($P<0.05$). Benzer şekilde, Xu vd. (2024) portakal kabuğu ekstraktı ilavesinin domuz köftelerinde sertlik ve sakızimsılık değerlerini azalttığını, diğer taraftan Bambeni vd. (2021) ise sığır köftelerine ilave edilen mandalina ekstraktının sertlik ve sakızimsılık değerleri üzerinde önemli bir değişime neden olmadığını rapor etmişlerdir. Bu çalışmada, hamburger köfte örnekleri arasında dış yapışkanlık, esneklik, iç yapışkanlık, elastikiyet ve çiğnenebilirlik değerleri açısından önemli farklar belirlenmemiştir ($P>0.05$). Esneklik, iç ve dış yapışkanlık ve çiğnenebilirlik değerleri açısından ekstrakt kullanımının önemli değişimlere neden olmadığına yönelik benzer bir sonuç Bambeni vd. (2021) tarafından mandalina ekstraktı içeren sığır köftelerinde bildirilmiştir. Liu vd. (2025) turuncgil ekstraktı uygulanan sığır etlerinde, Xu vd. (2024) ise portakal kabuğu ekstraktı içeren domuz köftelerinde benzer esneklik değerleri tespit etmişlerdir.

Çizelge 5. Farklı oranlarda GKE içeren çiğ hamburger köftelerine ait tekstür profil analiz (TPA) sonuçları

Table 5. Texture profile analysis (TPA) results of raw hamburger patties containing different ratios of GKE

Gruplar Groups	Sertlik (N) Hardness (N)	Dış yapışkanlık (mJ) Adhesiveness (mJ)	Esneklik Springiness	İç yapışkanlık Cohesiveness	Elastikiyet Resilience	Sakızimsılık (N) Gumminess (N)	Çiğnenebilirlik (N) Chewiness (N)
Kontrol Control	1.87 ^a ±0.27	0.20 ^a ±0.08	0.11 ^a ±0.02	0.55 ^a ±0.11	0.66 ^a ±0.17	0.90 ^a ±0.21	2.90 ^a ±0.29
BHT BHT	1.89 ^a ±0.48	0.16 ^a ±0.07	0.13 ^a ±0.02	0.54 ^a ±0.03	0.68 ^a ±0.10	0.84 ^{ab} ±0.11	3.28 ^a ±0.24
GKE-0.5 GPE-0.5	1.18 ^b ±0.17	0.23 ^a ±0.05	0.12 ^a ±0.01	0.47 ^a ±0.02	0.63 ^a ±0.06	0.59 ^c ±0.07	2.88 ^a ±0.33
GKE-1.0 GPE-1.0	1.24 ^b ±0.05	0.18 ^a ±0.04	0.12 ^a ±0.01	0.53 ^a ±0.11	0.70 ^a ±0.06	0.65 ^{bc} ±0.11	3.15 ^a ±0.78

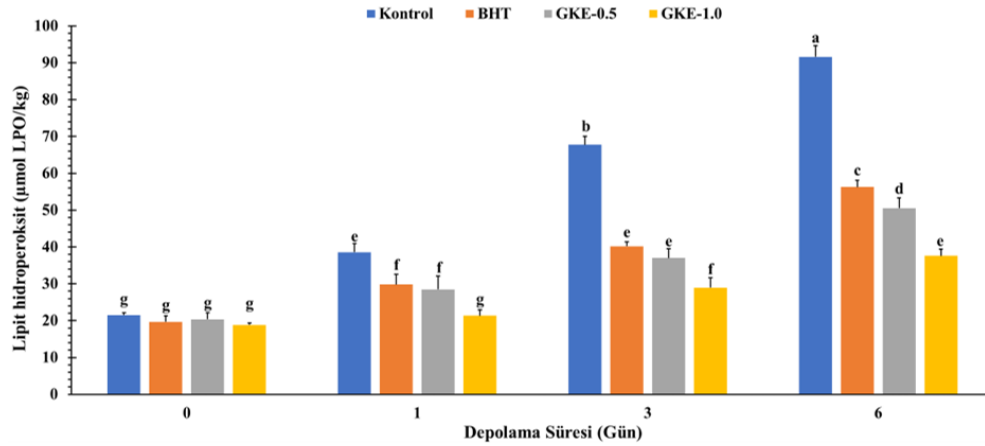
Sonuçlar, ortalama ve standart sapma (SD) olarak verilmiştir. ^{a-c}Aynı sütunda farklı harfleri taşıyan ortalama değerler birbirinden anlamlı derecede farklıdır ($P<0.05$). Kontrol: BHT veya GKE içermeyen deneme grubu; BHT: %0.01 oranında BHT içeren deneme grubu; GKE-0.5: %0.5 oranında GKE içeren deneme grubu; GKE-1.0: %1 oranında GKE içeren deneme grubu; GKE: Greyfurt kabuğu ekstraktı; BHT: Bütilenmiş hidroksitoluen.

Results are presented as mean ± standard deviation (SD). ^{a-c}Means within the same column with different superscript letters are significantly different ($P<0.05$). Control: treatment without BHT or GKE; BHT: treatment containing 0.01% BHT; GKE-0.5: treatment containing 0.5% GKE; GKE-1.0: treatment containing 1.0% GKE. GKE: Grapefruit peel extract; BHT: Butylated hydroxytoluene.

LPO

Birincil oksidasyon ürünleri olan hidroperoksitler LPO ölçümü ile belirlenmiştir. Hamburger köfte örneklerinde depolama süresince belirlenen LPO analizine ait sonuçlar Şekil 1’de verilmiştir. Hamburger köfte örneklerine ait LPO değerlerinin üretim günü (0. gün) 18.86 ile 21.54 $\mu\text{mol LPO/kg}$ aralığında, depolama sonu olan 6. günde ise 37.57 ile 91.56 $\mu\text{mol LPO/kg}$ aralığında değiştiği görülmüştür. Analiz sonuçlarına göre, üretim günü (0. gün) hamburger köfte örnekleri arasında LPO değerleri açısından önemli bir fark tespit edilmemiştir ($P>0.05$). Depolama süresince ise en yüksek LPO değerleri kontrol grubunda belirlenirken, en düşük LPO değerleri ise GKE-1.0 grubunda tespit edilmiştir ($P<0.05$). Depolamanın 1. ve 3. günlerinde BHT ve GKE-0.5 grupları arasında LPO değerleri açısından önemli bir fark belirlenmezken ($P>0.05$), depolama sonunda GKE-0.5 grubunda BHT grubuna göre daha düşük LPO değeri tespit edilmiştir ($P<0.05$). Ayrıca depolama süresince GKE-1.0 grubunda GKE-0.5 grubuna göre daha düşük LPO değerleri tespit edilmiştir ($P<0.05$). LPO sonuçları, greyfurt kabuğu ekstraktı içeren hindi sosleri ile keçi eti köfteleri üzerine Sayari vd. (2015) ile Nishad vd. (2018) tarafından yapılan çalışmalarda, ayrıca portakal kabuğu ekstraktı içeren sığır eti ve domuz eti köfteleri üzerine Haque vd. (2020) ile Xu vd. (2024) tarafından yapılan çalışmalarda

elde edilen bulgular ile benzerlik göstermektedir. Greyfurt kabuğu ekstraktı içeren örneklerin kontrol grubuna göre daha düşük LPO seviyelerine sahip olması içermiş oldukları yüksek miktardaki fenolik bileşiklerden kaynaklanmaktadır (Haque vd., 2020). Fenolik bileşiklerin antioksidan aktivitesi genellikle, ROS’u temizleyerek otoksidasyonun başlangıcını geciktirme yeteneği veya lipit otoksidasyonunun yayılma aşamasını engellemek için zincir kırıcı antioksidanlar olarak hareket etme yeteneği ile tanımlanmaktadır (Sayari vd., 2015). Bu çalışmada, tüm gruplarda LPO değerleri genel olarak depolama süresince kademeli olarak artış göstermiştir ($P<0.05$). LPO değerlerinin depolama sonunda kontrol grubunda 4.25, BHT grubunda 2.86, GKE-0.5 ve GKE-1.0 gruplarında ise sırasıyla 2.54 ve 1.99 kat olacak şekilde arttığı görülmüştür. Ayrıca, LPO oluşumu BHT içeren örneklerde %38.6 düzeyinde engellenirken, %0.5 ve %1 oranlarında GKE içeren örneklerde ise sırasıyla %44.8 ve %59.0 düzeylerinde engellenmiştir. Nishad vd. (2018) ile Sayari vd. (2015) greyfurt kabuğu ekstraktı içeren keçi köfte ve hindi soslerinde depolama süresince oksidasyon seviyelerinde benzer bir artış eğilimi bildirmişlerdir. Sığır kıymasında depolama sırasında peroksit değerlerindeki artış, kas membran bütünlüğünün bozulması nedeniyle hücre içi bileşiklerin oksijen, enzimler veya oksidasyonu destekleyen metaller gibi pro-oksidan bileşenlerle temaslarının artması ile açıklanabilir (Domínguez vd., 2019).



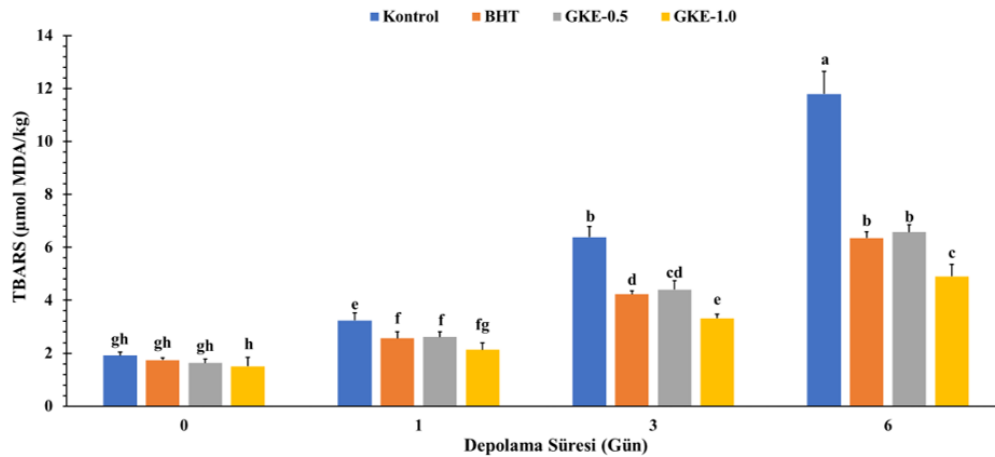
Şekil 1. Farklı oranlarda GKE içeren çiğ hamburger köftelere ait LPO değerleri ($\mu\text{mol LPO/kg}$). Sonuçlar, ortalama ve standart sapma (SD) olarak verilmiştir. a-gŞekilde farklı harflerle gösterilen ortalama değerler birbirinden anlamlı derecede farklıdır ($P<0.05$). LPO: Lipit hidroperoksit. Kontrol: BHT veya GKE içermeyen deneme grubu; BHT: %0.01 oranında BHT içeren deneme grubu; GKE-0.5: %0.5 oranında GKE içeren deneme grubu; GKE-1.0: %1 oranında GKE içeren deneme grubu; GKE: Greyfurt kabuğu ekstraktı; BHT: Bütillenmiş hidroksitoluen.

Figure 1. LPO values ($\mu\text{mol LPO/kg}$) of raw hamburger patties containing different ratios of GKE. Results are presented as mean $\pm$ standard deviation (SD). a-gMeans within the figure with different superscript letters are significantly different ($P<0.05$). LPO: Lipid hydroperoxide. Control: treatment without BHT or GKE; BHT: treatment containing 0.01% BHT; GKE-0.5: treatment containing 0.5% GKE; GKE-1.0: treatment containing 1.0% GKE. GKE: Grapefruit peel extract; BHT: Butylated hydroxytoluene.

TBARS

Hamburger köfte örneklerinde depolama süresince belirlenen TBARS analizine ait sonuçlar Şekil 2'de gösterilmiştir. Hamburger köfte örneklerine ait TBARS değerlerinin, üretim gününde (0. gün) 1.51-1.91 $\mu\text{mol MDA/kg}$ aralığında olduğu, depolama süresinin sonunda ise (6. gün) 4.90-11.79 $\mu\text{mol MDA/kg}$ aralığına ulaştığı belirlenmiştir. Üretim günü (0. gün) hamburger köfte örnekleri arasında TBARS değerleri açısından önemli bir fark belirlenmemiştir ($P>0.05$). Depolama süresince en yüksek TBARS değerleri kontrol grubunda tespit edilmiştir ($P<0.05$). Depolamanın 1. gününde BHT ve GKE-0.5 grupları ile GKE-1.0 grubu arasında TBARS değerleri açısından önemli bir fark görülmezken ($P>0.05$), depolamanın 3. ve 6. günlerinde en düşük TBARS değerleri GKE-1.0 grubunda belirlenmiştir ($P<0.05$). Ayrıca, depolama süresince BHT ve GKE-0.5 grupları arasında TBARS değerleri açısından önemli bir fark belirlenmemiştir ($P>0.05$). Lipit oksidasyonu, işlenmiş et ürünlerinde lezzet, renk ve genel kaliteyi olumsuz yönde etkileyen ciddi bir sorun olup, TBARS analizi ikincil bir oksidasyon ürünü olan malondialdehiti (MDA) ölçerek etin oksidatif stabilitesinin belirlenmesinde güvenilir bir gösterge olarak kabul edilmektedir (Bae vd., 2025; Liu vd., 2025). Daha önce gerçekleştirilen çalışmalar, limon, portakal ve greyluft kabuğundan elde edilen ekstraktların domuz sosisi, sığır eti ve hindi köftesi gibi et ve et ürünlerinde TBARS oluşumunu etkili bir şekilde azalttığını ve oksidatif stabiliteyi arttırdığını göstermiştir (Babaoğlu vd.,

2022; Bae vd., 2025; Liu vd., 2025). Turunçgil kabuklarının askorbik asit, hesperidin, narirutin, naringin ve eriositrin gibi polifenolikler açısından zengin bileşimi ilave edilen gıdalarda oksidatif stabilitenin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır (Garcia-Castello vd., 2015). Bu fitokimyasal bileşikler, oksidatif değişikliklerden sorumlu enzimatik reaksiyonları engelleyerek, serbest radikalleri temizleyerek ve pro-oksidan metal iyonlarını şelatlayarak aktivitelerini göstermektedir (Nishad vd., 2018; Ashraf vd., 2024). Bu çalışmada, tüm gruplarda TBARS değerleri genel olarak depolama süresince kademeli bir artış göstermiştir ($P<0.05$). Hamburger köfte örneklerinde TBARS değerlerinin depolama sonunda üretim gününe göre kontrol grubunda 6.17, BHT'de 3.65, GKE-0.5 grubunda 4.03 ve GKE-1.0 grubunda ise 3.25 kat olacak şekilde artış gösterdiği belirlenmiştir. TBARS oluşum miktarının BHT'de %46.1, GKE-0.5'de %44.3 ve GKE-1.0 grubunda ise %58.4 engellendiği sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde, satsuma mandalinası (*Citrus unshiu*) kabuğu ekstraktı içeren sığır, domuz, tavuk ve somon köftelerinde depolama süresince lipit oksidasyon seviyelerinin arttığı Jo vd. (2004) tarafından gerçekleştirilen çalışmada bildirilmiştir. Disha vd. (2020) limon ekstraktı içeren tavuk köftelerinin dondurarak depolanması esnasında, Babaoğlu vd. (2022) ise greyluft kabuğu ekstraktı içeren hindi köftelerinin soğukta depolanması esnasında TBARS değerlerinde artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca, Nishad vd. (2018) greyluft kabuğu ekstraktı içeren ve dondurulmuş olarak depolanan keçi köftelerinde TBARS değerlerinin 3.68 kat, içermeyen köftelerde ise 6.78 kat arttığını rapor etmiştir.



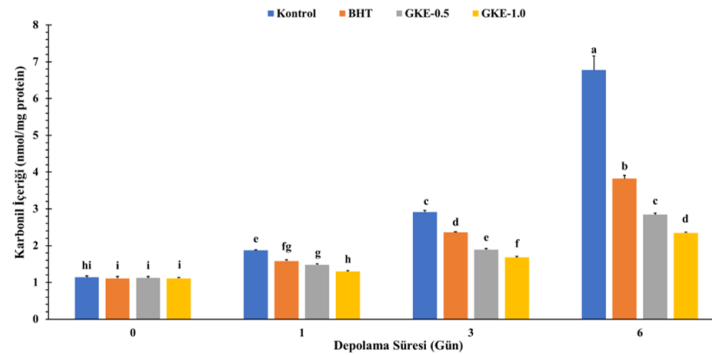
Şekil 2. Farklı oranlarda GKE içeren çiğ hamburger köftelere ait TBARS değerleri ($\mu\text{mol MDA/kg}$). Sonuçlar, ortalama ve standart sapma (SD) olarak verilmiştir. ^{a-h}Şekilde farklı harflerle gösterilen ortalama değerler birbirinden anlamlı derecede farklıdır ($P<0.05$). TBARS: Tiobarbitürik asit reaktif maddeler. Kontrol: BHT veya GKE içermeyen deneme grubu; BHT: %0.01 oranında BHT içeren deneme grubu; GKE-0.5: %0.5 oranında GKE içeren deneme grubu; GKE-1.0: %1 oranında GKE içeren deneme grubu; GKE: Greyfurt kabuğu ekstraktı; BHT: Bütilenmiş hidroksitoluen.

Figure 2. TBARS values ($\mu\text{mol MDA/kg}$) of raw hamburger patties containing different ratios of GKE. Results are presented as mean $\pm$ standard deviation (SD). ^{a-h}Means within the figure with different superscript letters are significantly different ($P<0.05$). TBARS: Tiobarbituric acid reactive substances. Control: treatment without BHT or GKE; BHT: treatment containing 0.01% BHT; GKE-0.5: treatment containing 0.5% GKE; GKE-1.0: treatment containing 1.0% GKE. GKE: Grapefruit peel extract; BHT: Butylated hydroxytoluene

Toplam Karbonil İçeriği

Protein karbonil bileşikler, proteinler ve aldehitler arasındaki etkileşim ve lizin, prolin, arjinin ve histidin kalıntıları gibi bazı amino asit yan zincirlerinin parçalanması nedeniyle oluşmakta ve protein oksidasyonunun birincil göstergesi olarak işlev görmektedir (Nishad vd., 2018; Liu vd., 2025). Hamburger köfte örneklerinde depolama süresince belirlenen toplam karbonil içeriği analizine ait sonuçlar Şekil 3'de sunulmuştur. Üretim gününde (0. gün) 1.11 ile 1.14 nmol/mg protein arasında değişen karbonil içeriğinin, depolama süresinin sonunda (6. gün) artış göstererek 2.35-6.77 nmol/mg protein aralığında belirlenmiştir. Üretim günü (0. gün) köfte örnekleri arasında karbonil içerikleri açısından önemli bir fark görülmemiştir ($P>0.05$). Depolama süresince ise en yüksek karbonil içeriği kontrol grubunda tespit edilirken, en düşük karbonil içeriği ise GKE-1.0 grubunda belirlenmiştir ($P<0.05$). Depolamanın 1. gününde BHT ve GKE-0.5 grupları arasında karbonil içeriği açısından önemli bir fark tespit edilmezken ($P>0.05$), depolamanın 3. ve 6. günlerinde ise GKE-0.5 grubunda BHT grubuna göre daha düşük karbonil içeriği tespit edilmiştir ($P<0.05$). Araştırma sonuçları ilave edilen GKE oranındaki artış ile karbonil oluşumunun önemli düzeyde engellendiğini göstermiştir ($P<0.05$). Benzer olarak, Nishad vd. (2018) greyfurt kabuğu ekstraktı içeren keçi köftesinin donmuş olarak depolanması esnasında karbonil oluşumunun önemli düzeyde engellendiğini rapor etmişlerdir. Greyfurt kabuklarından elde edilen ekstraktların içermiş olduğu hesperidin, naringin, narirutin, gallik asit ve p-coumaric asit gibi flavonoidler ve fenolik asitler sayesinde güçlü serbest radikal giderme aktivitesine sahip olduğu rapor edilmiştir (Garcia-Castello vd., 2015; Castro-Vazquez vd., 2016). Liu vd. (2025) soğukta depolanan sığır etlerinde doğal antioksidan olarak

turuncgil ekstraktı uygulamalarının karbonil oluşumunu önemli düzeyde engellediğini belirtmişlerdir. Karbonil oluşumunun engellenme mekanizmasının turuncgil kabuklarından elde edilen antioksidan özelliklere sahip bileşenlerin ROS'ları amino asit kalıntılarıyla reaksiyona girmeden önce nötralize etmesiyle ilişkilendirmişlerdir. Ayrıca karbonil oluşumunun sınırlandırılması sonucunda protein parçalanmasının, agregasyonunun ve fonksiyonel özellik kaybının önlenmesi sayesinde dokusal özelliklerin korunduğunu ifade etmişlerdir (Liu vd., 2025). Diğer taraftan, Babaoğlu vd. (2022) hindi köftelerine greyfurt kabuğu ekstraktı ilavesinin karbonil oluşumunu baskılamada önemli etkiler sergilemediğini rapor etmiştir. Ekstraktların antioksidan aktivite düzeyleri üzerine ekstraksiyon yöntemi, çözgen tipi, ekstraksiyon süresi ve sıcaklığı, çözgen konsantrasyonu ve çözgen/örnek oranı gibi ekstraksiyon koşulları etkili olmaktadır (Azmir vd., 2013). Bu çalışmada, tüm örneklerde karbonil içerikleri depolama süresince kademeli olarak artış göstermiş, ancak BHT ve GKE içeren örneklerde artış önemli düzeyde daha düşük kalmıştır ($P<0.05$). Greyfurt kabuğu ekstraktı içeren ve donmuş olarak depolanan keçi köftelerinde depolama süresince karbonil içeriklerinin arttığına yönelik benzer bir sonuç Nishad vd. (2018) tarafından rapor edilmiştir. Bu çalışmada, hamburger köfte örneklerinde depolama sonunda meydana gelen karbonil içeriği artış oranı kontrol grubunda 5.94 kat iken, BHT'de 3.44, GKE-0.5'de 2.54 ve GKE-1.0 grubunda ise 2.12 kat olacak şekilde gerçekleşmiştir. Araştırma sonuçlarına göre BHT'de %43.6, GKE-0.5'de %58.1 ve GKE-1.0 grubunda ise %65.3 oranında karbonil oluşumu engellenmiştir. Bu sonuçlar, BHT ve GKE uygulamaları ile karbonil oluşumunun önemli düzeyde engellendiğini, en iyi etkinliğin ise %1 oranında GKE ilavesi sonucunda elde edildiğini göstermiştir.



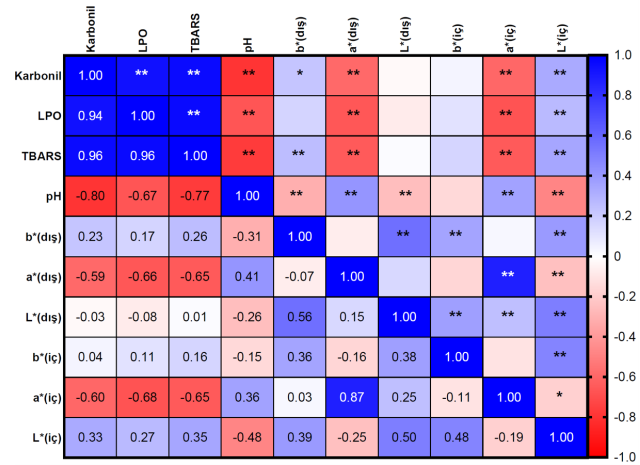
Şekil 3. Farklı oranlarda GKE içeren çiğ hamburger köftelere ait karbonil içeriği değerleri (nmol/mg protein). Sonuçlar, ortalama ve standart sapma (SD) olarak verilmiştir. a-i-Şekilde farklı harflerle gösterilen ortalama değerler birbirinden anlamlı derecede farklıdır ($P<0.05$). Kontrol: BHT veya GKE içermeyen deneme grubu; BHT: %0.01 oranında BHT içeren deneme grubu; GKE-0.5: %0.5 oranında GKE içeren deneme grubu; GKE-1.0: %1 oranında GKE içeren deneme grubu; GKE: Greyfurt kabuğu ekstraktı; BHT: Bütilenmiş hidroksitoluen

Figure 3. Carbonyl contents (nmol/mg protein) of raw hamburger patties containing different ratios of GKE. Results are presented as mean $\pm$ standard deviation (SD). a-i-Means within the figure with different superscript letters are significantly different ($P<0.05$). Control: treatment without BHT or GKE; BHT: treatment containing 0.01% BHT; GKE-0.5: treatment containing 0.5% GKE; GKE-1.0: treatment containing 1.0% GKE. GKE: Grapefruit peel extract; BHT: Butylated hydroxytoluene

Korelasyon Analizi Sonuçları

Korelasyon analizi, hamburger köfte örneklerinin oksidatif değişimleri ile pH ve renk özellikleri arasındaki ilişkilere yönelik önemli bilgiler sağlamıştır (Şekil 4). Hamburger köfte örneklerinde belirlenen TBARS değerleri ile LPO ($r=0.96$, $P<0.01$) ve karbonil ($r=0.96$, $P<0.01$) değerleri arasında pozitif yönde çok güçlü bir korelasyon tespit edilmiştir. Karbonil ve LPO değerleri arasında da benzer şekilde pozitif yönde çok güçlü bir korelasyon belirlenmiştir ($r=0.94$, $P<0.01$). Barriuso vd. (2013) hidroperoksitlerin kararsız yapısı nedeniyle parçalanarak ikincil oksidasyon ürünlerini (TBARS) oluşturduğunu ve oksidasyonun yayılma aşamasında bu iki parametre arasında pozitif bir korelasyon beklendiğini belirtmişlerdir. Babaoğlu vd. (2022) ise protein oksidasyonu sırasında oluşan karbonil bileşiklerinin Schiff bazlarının oluşumu yoluyla hasarlı proteinlerin çapraz bağlanmasında rol oynadığını, Schiff bazlarının ise lipid oksidasyon ürünleri ile proteinlerin yan zincirindeki amino grupları arasındaki reaksiyonlar sonucunda oluştuğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle, lipid ve protein oksidasyonu arasında bir etkileşim olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca, protein oksidasyonu büyük miktarda serbest demir açığa çıkmasına neden olarak lipid oksidasyonunu hızlandırmakta, lipid oksidasyonundan kaynaklanan ikincil ürünler ise amino asitler, peptitler ve proteinlerle reaksiyona girerek protein oksidasyonunu desteklemektedir (Baltar vd., 2019). Bu çalışmada, pH ile TBARS ($r=-0.77$, $P<0.01$) ve karbonil ($r=-0.80$, $P<0.01$) değerleri arasında negatif güçlü bir korelasyon bulunurken, LPO ($r=-0.67$, $P<0.01$) değerleri ile negatif yönde orta seviyede bir korelasyon belirlenmiştir. pH ile oksidasyon ölçümleri arasında belirlenen negatif yönlü korelasyon Koutsopoulos vd. (2008) tarafından fermente sosislerde rapor edilen bulgularla uyumluluk göstermektedir. Sharedeh vd. (2015) pH değerindeki düşüş ile TBARS ve karbonil değerlerindeki artış arasındaki benzer bir ilişkiyi vurgulamıştır. Bu çalışmada, TBARS, LPO ve karbonil değerleri ile $L^*(dış)$ ve $b^*(iç)$ değerleri arasında anlamlı bir korelasyon bulunmamıştır. $L^*(iç)$ değerleri ile TBARS ($r=0.35$, $P<0.01$), LPO ($r=0.27$, $P<0.01$) ve karbonil ($r=0.33$, $P<0.01$) değerleri arasında pozitif yönde zayıf bir korelasyon tespit edilmiştir. Bonny vd. (2017) sığır etlerinde TBARS ve peroksit değerleri ile L^* değerleri arasında benzer şekilde pozitif yönlü bir ilişki tespit etmiştir. Diğer taraftan, Jung vd. (2025) ise tavuk etlerinde TBARS ve peroksit değerleri ile L^* değerleri arasında negatif yönlü bir ilişki olduğunu bulmuştur. Mevcut araştırmada, $a^*(iç)$ ve $a^*(dış)$ değerleri ile TBARS, LPO ve karbonil değerleri arasında negatif yönlü orta seviyede bir korelasyon bulunmuştur ($P<0.01$). Daha önce yapılan çalışmalarda benzer olarak çiğ sığır köfte ve tavuk etlerinde oksidasyon seviyeleri ile a^* değerleri arasında negatif yönlü korelasyon olduğu bildirilmiştir (Liu vd., 2015; Bonny vd., 2017; Jung vd., 2025). Kırmızı renkteki

azalma, oksimiyoglobinin metmiyoglobine oksidasyonundan kaynaklanmakta olup lipid oksidasyonu bu olayı artırmaktadır (Bonny vd., 2017). $b^*(dış)$ değerleri ile LPO değerleri arasında anlamlı bir korelasyon bulunmazken, TBARS ($r=0.26$, $P<0.01$) ve karbonil ($r=0.23$, $P<0.05$) değerleri açısından pozitif yönde zayıf bir korelasyon tespit edilmiştir. Bonny vd. (2017) sığır etlerinin oksidasyon değerleri ile b^* değerleri arasında önemli bir ilişki bulunmadığını, Jung vd. (2025) ise pozitif yönde önemli bir korelasyon olduğunu rapor etmişlerdir. Hamburger köfte örneklerinde belirlenen pH değerleri ile $a^*(iç)$ ($r=0.36$, $P<0.01$) değerleri arasında zayıf, $a^*(dış)$ ($r=0.41$, $P<0.01$) değerleri arasında ise orta seviyede pozitif yönde bir korelasyon belirlenirken, $L^*(dış)$ ($r=-0.26$, $P<0.01$) değerleri ile zayıf, $L^*(iç)$ ($r=-0.48$, $P<0.01$) değerleri arasında ise orta seviyede negatif yönde bir korelasyon bulunmuştur. Ayrıca, pH değerleri ile $b^*(iç)$ değerleri arasında anlamlı bir korelasyon bulunmazken, $b^*(dış)$ ($r=-0.31$, $P<0.01$) değerleri açısından negatif yönde zayıf bir korelasyon tespit edilmiştir. Jung vd. (2025) yapmış oldukları çalışmada benzer şekilde parlaklık (L^*) ve pH arasında negatif yönlü güçlü bir korelasyon bulmuştur.



Şekil 4. GKE içeren hamburger köftelerin depolanması sırasında çeşitli parametreler arasındaki Pearson korelasyon katsayıları. * ve ** sembolleri sırasıyla $P<0.05$ ve $P<0.01$ anlamlılık düzeylerini göstermektedir. Pozitif ve negatif korelasyonlar sırasıyla mavi ve kırmızı renk tonlarıyla gösterilmiştir. Rengin yoğunluğu, korelasyonun gücüyle doğru orantılıdır. GKE: Greyfurt kabuğu ekstraktı

Figure 4. Pearson correlation coefficients among various parameters during the storage of hamburger patties containing GKE. The symbol * and ** indicate the significant level of $P<0.05$ and $P<0.01$, respectively. Positive and negative correlations are denoted by blue and red hues, respectively. The intensity of the color is directly proportional to the strength of the correlation. GKE: Grapefruit peel extract

SONUÇ

Bu çalışma, greyfurt kabuğu ekstraktının 6 gün boyunca soğukta depolanan çiğ hamburger köftelerinin oksidatif stabilitesini iyileştirdiğini göstermiştir. GKE uygulaması, hamburger köfte örneklerin pH değerlerini azaltırken, L*, a* ve b* değerlerini ise artırmıştır. GKE içeren hamburger köftelerde kontrol ve BHT grubuna kıyasla daha düşük LPO ve karbonil değerleri tespit edilmiştir. En düşük TBARS değerleri ise %1 oranında GKE içeren köftelerde belirlenmiştir. Ayrıca, ilave edilen GKE oranı arttıkça lipid ve protein oksidasyonunun daha iyi sınırlandırıldığı görülmüştür. GKE ilavesinin kimyasal kompozisyon üzerine önemli bir etkisi olmamıştır. GKE ilavesi sertlik ve sakızimsılık değerlerinde düşüşe neden olurken, dış yapışkanlık, esneklik, iç yapışkanlık, elastikiyet ve çiğnenebilirlik değerleri üzerinde ise önemli bir değişime neden olmamıştır. Çalışma sonuçları, GKE uygulamasının çiğ depolanan dana hamburger köftelerin oksidatif stabilitesinin iyileştirilmesi amacıyla doğal bir antioksidan olarak kullanım potansiyeli olduğunu göstermiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

KAYNAKLAR

Abd El-Khalek, H. H. & Zahran, D. A. (2013). Utilization of fruit by-product in ground meat preservation. *Food Science and Quality Management*, 11, 49-60.

Abdel-Nacem, H. H., Elshebrawy, H. A., Imre, K., Morar, A., Herman, V., Pacalău, R. & Sallam, K. I. (2022). Antioxidant and antibacterial effect of fruit peel powders in chicken patties. *Foods*, 11(3), 301.

AOAC (1990). *Official Methods of Analyses*. Association of Official Analytical Chemist. IAC, Arlington, VA, USA.

AOAC. (1997). Association of official analytical chemists. In W. Horwitz(Ed.), *Official methods of analysis* (15th ed.). AOAC International.

Amaral, A. B., Silva, M. V. D. & Lannes, S. C. D. S. (2018). Lipid oxidation in meat: mechanisms and protective factors—a review. *Food Science and Technology*, 38(Suppl. 1), 1-15.

Ashour, M. M. S., Moawad, R. K. & Barch, G. F. (2013). Quality enhancement and shelf-life extension of raw beef patties formulated with lactate/thyme essential oil during refrigerated storage. *Journal of Applied Sciences Research*, 9(13), 6699-6709.

Ashraf, H., Iahtisham-Ul-Haq, Butt, M. S., Nayik, G. A., Ramniwas, S., Damto, T. & Ansari, M. J. (2024). Phytochemical and antioxidant profile of citrus peel extracts in relation to different extraction parameters. *International Journal of Food Properties*, 27(1), 286-299.

Azmir, J., Zaidul, I. S. M., Rahman, M. M., Sharif, K. M., Mohamed, A., Sahena, F. & Omar, A. K. (2013). Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *Journal of Food Engineering*, 117(4), 426-436.

Babaoğlu, A. S., Ainiwaer, T., Özkan, H. & Karakaya, M. (2022). Grapefruit and pomelo peel extracts as natural antioxidants for improved storage stability of Turkey patties during refrigerated storage. *Journal of Food Science and Technology*, 59(10), 4067-4074.

Bae, S. M., Yoo, Y., Park, J., Kim, M. & Jeong, J. Y. (2025). Citrus peel extract powders as reducing agents for naturally cured pork sausages: Effects on cured color development. *Foods*, 14(8), 1397.

Baltar, J. D., Baptista, R. F., de Alcântara Salim, A. P. A., de Oliveira, J. M. G. & Monteiro, M. L. G. (2019). Oxidative stability of lamb meat patties from Longissimus dorsi muscle stored under refrigeration. *Journal of Food Studies*, 8(1), 2166-1073.

Bambeni, T., Tayengwa, T., Chikwanha, O. C., Manley, M., Gouws, P. A., Marais, J. & Mapiye, C. (2021). Biopreservative efficacy of grape (*Vitis vinifera*) and clementine mandarin orange (*Citrus reticulata*) by-product extracts in raw ground beef patties. *Meat Science*, 181, 108609.

Barriuso, B., Astiasarán, I. & Ansorena, D. (2013). A review of analytical methods measuring lipid oxidation status in foods: a challenging task. *European Food Research and Technology*, 236(1), 1-15.

Bonny, D. S. S., Li, X., Li, Z., Li, M., Du, M., Gao, L. & Zhang, D. (2017). Colour stability and lipid oxidation of beef Longissimus lumborum under different packaging conditions. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 67(4).

Caine, W. R., Aalhus, J. L., Best, D. R., Dugan, M. E. R. & Jeremiah, L. E. (2003). Relationship of texture profile analysis and Warner-

- Bratzler shear force with sensory characteristics of beef rib steaks. *Meat Science*, 64(4), 333–339.
- Castro-Vazquez, L., Alañón, M. E., Rodríguez-Robledo, V., Pérez-Coello, M. S., Hermosín-Gutierrez, I., Díaz-Maroto, M. C. & Arroyo-Jimenez, M. D. M. (2016). Bioactive flavonoids, antioxidant behaviour, and cytoprotective effects of dried grapefruit peels (*Citrus paradisi* Macf.). *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016(1), 8915729.
- Chappalwar, A. M., Pathak, V., Goswami, M., Verma, A. K. & Rajkumar, V. (2021). Efficacy of lemon albedo as fat replacer for development of ultra-low fat chicken patties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(7), e15587.
- Disha, M. N. A., Hossain, M. A., Kamal, M. T., Rahman, M. M. & Hashem, M. A. (2020). Effect of different level of lemon extract on quality and shelf life of chicken meatballs during frozen storage. *SAARC Journal of Agriculture*, 18(2), 139-156.
- Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F. J., Zhang, W. & Lorenzo, J. M. (2019). A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. *Antioxidants*, 8(10), 429.
- Dua, S., Bhat, Z. F. & Kumar, S. (2015). Effect of lemon peel extract on the oxidative stability and storage quality of Tabak-Maz, traditional fried mutton ribs. *Nutrition & Food Science*, 45(5), 662-676.
- Estévez, M. (2011). Protein carbonyls in meat systems: A review. *Meat Science*, 89(3), 259-279.
- Fernandez-Lopez, J., Fernández-Ginés, J. M., Aleson-Carbonell, L., Sendra, E., Sayas-Barberá, E. & Pérez-Alvarez, J. A. (2004). Application of functional citrus by-products to meat products. *Trends in Food Science & Technology*, 15(3-4), 176-185.
- Garcia-Castello, E. M., Rodriguez-Lopez, A. D., Mayor, L., Ballesteros, R., Conidi, C. & Cassano, A. (2015). Optimization of conventional and ultrasound assisted extraction of flavonoids from grapefruit (*Citrus paradisi* L.) solid wastes. *LWT-Food Science and Technology*, 64(2), 1114-1122.
- Gulcin, İ. (2025). Antioxidants: a comprehensive review. *Archives of Toxicology*, 99(5), 1893-1997.
- Haque, F., Rahman, M. H., Habib, M., Alam, M. S., Monir, M. M. & Hossain, M. M. (2020). Effect of different levels of orange peel extract on the quality and shelf life of beef muscle during frozen storage. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 13, 43-56.
- Huang, R., Zhang, Y., Shen, S., Zhi, Z., Cheng, H., Chen, S. & Ye, X. (2020). Antioxidant and pancreatic lipase inhibitory effects of flavonoids from different citrus peel extracts: An in vitro study. *Food Chemistry*, 326, 126785.
- Ibrahim, H. M., Hassan, I. M. & Hamed, A. A. (2018). Application of lemon and orange peels in meat products: Quality and safety. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(4), 2703-2723.
- Islam, M., Malakar, S., Dwivedi, U., Kumar, N., Prabakar, P. K., Kishore, A. & Kumar, A. (2023). Impact of different drying techniques on grapefruit peels and subsequent optimization of ultrasonic extraction conditions for bioactive compounds. *Journal of Food Process Engineering*, 46(6), e14331.
- Jo, C., Kang, H. J., Lee, M., Lee, N. Y. & Byun, M. W. (2004). The antioxidative potential of lyophilized citrus peel extract in different meat model systems during storage at 20C. *Journal of Muscle Foods*, 15(2), 95-107.
- Jung, Y., Oh, S., Lee, S., Lee, H. J., Choo, H. J., Jo, C., Nam, K., Lee, J. & Jang, A. (2025). Characterization of meat quality, storage stability, flavor-related compounds, and their relationship in Korean Woorimatdag No. 2 chicken breast meat during cold storage. *Poultry Science*, 104(1), 104566.
- Kılıç, B., Şimşek, A., Claus, J. R. & Atılğan, E. (2014). Encapsulated phosphates reduce lipid oxidation in both ground chicken and ground beef during raw and cooked meat storage with some influence on color, pH, and cooking loss. *Meat Science*, 97(1), 93-103.
- Kılıç, B., Şimşek, A., Claus, J. R., Karaca, E. & Bilecen, D. (2018). Improving lipid oxidation inhibition in cooked beef hamburger patties during refrigerated storage with encapsulated polyphosphate incorporation. *LWT-Food Science and Technology*, 92, 290-296.
- Klangpetch, W., Phromsurin, K., Hannarong, K., Wichaphon, J. & Rungchang, S. (2016). Antibacterial and antioxidant effects of tropical citrus peel extracts to improve the shelf life of raw chicken drumettes. *International Food Research Journal*, 23(2), 700.
- Koutsopoulos, D. A., Koutsimanis, G. E. & Bloukas, J. G. (2008). Effect of carrageenan level and packaging during ripening on processing and quality characteristics of low-fat fermented sausages produced with olive oil. *Meat Science*, 79(1), 188-197.
- Liu, F., Xu, Q., Dai, R. & Ni, Y. (2015). Effects of natural antioxidants on colour stability, lipid oxidation and metmyoglobin reducing activity in raw beef patties. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 14(1), 37-44.
- Liu, C., Xu, S., Liu, X., Wang, W., Liao, W., Yang, X. & He, Q. (2025). Preservation of beef with limonene-rich citrus peel extracts:

- Antioxidant, antimicrobial and textural benefits. *Foods*, 14(20), 3506.
- Lund, M. N., Heinonen, M., Baron, C. P. & Estévez, M. (2011). Protein oxidation in muscle foods: A review. *Molecular Nutrition & Food Research*, 55(1), 83-95.
- Min, B. & Ahn, D. U. (2005). Mechanism of lipid peroxidation in meat and meat products-A Review. *Food Science and Biotechnology*, 14(1): 152-163.
- Nishad, J., Koley, T. K., Varghese, E. & Kaur, C. (2018). Synergistic effects of nutmeg and citrus peel extracts in imparting oxidative stability in meat balls. *Food Research International*, 106, 1026-1036.
- Nupur, A. H., Mazumder, M. A. R., Karmoker, P. & Alim, M. A. (2022). Effectiveness of orange peel extract on the quality of minced beef during frozen storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(7), e16659.
- Sayari, N., Sila, A., Balti, R., Abid, E., Hajlaoui, K., Nasri, M. & Bougatef, A. (2015). Antioxidant and antibacterial properties of Citrus paradisi barks extracts during turkey sausage formulation and storage. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 4(4), 616-623.
- Shantha, N. C. & Decker E. A. (1994). Rapid, sensitive, iron-based spectrophotometric methods for determination of lipid hydroperoxides of food lipids. *Journal of AOAC International*, 77, 421-424.
- Sharedeh, D., Gatellier, P., Astruc, T. & Daudin, J. D. (2015). Effects of pH and NaCl levels in a beef marinade on physicochemical states of lipids and proteins and on tissue microstructure. *Meat Science*, 110, 24-31.
- Soladoye, O. P., Juárez, M. L., Aalhus, J. L., Shand, P. & Estévez, M. (2015). Protein oxidation in processed meat: Mechanisms and potential implications on human health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(2), 106-122.
- Şimşek, A. ve Kılıç, B. (2012). Et ve et ürünlerinde antioksidan kullanımındaki güncel gelişmeler. *Akademik Gıda*, 10(2), 75-83.
- Tayengwa, T., Chikwanha, O. C., Gouws, P., Dugan, M. E., Mutsvangwa, T. & Mapiye, C. (2020). Dietary citrus pulp and grape pomace as potential natural preservatives for extending beef shelf life. *Meat Science*, 162, 108029.
- Trindade, R. A., Mancini-Filho, J. & Villavicencio, A. L. C. H. (2010). Natural antioxidants protecting irradiated beef burgers from lipid oxidation. *LWT-Food Science and Technology*, 43(1), 98-104.
- Xu, Y., Li, G., Mo, L., Li, M., Luo, J., Shen, Q. & Quan, W. (2024). Citrus peel extracts: Effective inhibitors of heterocyclic amines and advanced glycation end products in grilled pork meat patties. *Foods*, 13 (1), 114.
- Wazir, H., Chay, S. Y., Ibadullah, W. Z. W., Zarei, M., Mustapha, N. A. & Saari, N. (2021). Lipid oxidation and protein co-oxidation in ready-to-eat meat products as affected by temperature, antioxidant, and packaging material during 6 months of storage. *RSC Advances*, 11(61), 38565-38577.
- Wedamulla, N. E., Fan, M., Choi, Y. J. & Kim, E. K. (2022). Citrus peel as a renewable bioresource: Transforming waste to food additives. *Journal of Functional Foods*, 95, 105163.

Nasıl Atıf Yapılır?:

Şimşek A. (2026) Greyfurt kabuğu (*Citrus paradisi*) ekstraktı ilavesinin çiğ depolanmış dana hamburger köftelerin oksidatif stabilitesi, fizikokimyasal ve tekstürel özellikleri üzerine etkileri. *GIDA* (2026) 51 (4) 771-788 doi: 10.15237/gida.GD26042

Cite this article as:

Şimşek A. (2026) *Effects of grapefruit peel (Citrus paradisi) extract addition on the oxidative stability, physicochemical and textural properties of raw stored beef hamburger patties. GIDA (2026) 51 (4) 771-788 doi: 10.15237/gida.GD26042*