

Sarı Kantaron Yağının Pastırmanın Oksidatif ve Renk Stabilitesi Üzerine Etkileri

Sabire YERLİKAYA^{1*} Sefa TOPUZ²

¹ Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Karaman, Türkiye

² Giresun Üniversitesi, Şebinkarahisar Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Gıda Teknolojisi Bölümü, Giresun, Türkiye

Makale Bilgisi	ÖZET
Geliş Tarihi: 16.10.2025 Kabul Tarihi: 04.12.2025 Yayın Tarihi: 31.12.2025	Bu çalışmada, pastırma üretiminde nitrit kullanımına alternatif olarak sarı kantaron (<i>Hypericum perforatum</i> L.) yağının etkileri araştırılmıştır. Çalışmada nitrit ve %1 sarı kantaron yağı içeren (N-S), sadece %1 sarı kantaron yağı içeren (NN-S) ve kontrol grubu olarak nitrit ve sarı kantaron yağı içermeyen (NN-SS) örnekler olmak üzere üç farklı formülasyon hazırlanmıştır. Pastırmalar 30 gün süreyle +4 °C'de depolanmış ve 0., 15. ve 30. günlerde nem, kül, pH, renk parametreleri (L^* , a^* , b^*) ile lipid oksidasyonunu belirleyen TBA analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara göre nem içerikleri depolama boyunca azalmış; 0. günde ortalama %41.2 iken, 30. günde %33.7'ye düşmüştür. Özellikle sarı kantaron yağı eklenen gruplarda nem kaybı daha belirgin olmuştur. Kül içerikleri incelendiğinde, kontrol grubunda ortalama %4.1 bulunurken, kantaron yağı içeren örneklerde bu oran %4.6'ya kadar yükselmiştir. pH değerleri ise depolama boyunca 5.72–5.69 aralığında kalarak önemli bir değişim göstermemiştir. Renk analizleri, nitritin kırmızı rengin korunmasında temel rol oynadığını, sarı kantaron yağının ise destekleyici katkı sağladığını ortaya koymuştur. a^* değerleri özellikle nitritli örneklerde yüksek bulunmuş, b^* değerleri ise kantaron yağının pigment ve flavonoid içeriği nedeniyle artış göstermiştir. TBA değerleri bakımından, kontrol grubunda 30. gün sonunda 1.62 mg MDA/kg'a ulaşılırken, nitrit ve kantaron yağı içeren N-S grubunda bu değer 0.95 mg MDA/kg olarak ölçülmüş ve yaklaşık %41 daha düşük oksidasyon tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular, sarı kantaron yağının tek başına nitritin yerini tam olarak alamasa da, özellikle nem kaybı, mineral içeriği, pH stabilitesi ve oksidatif bozulmayı yavaşlatma açısından önemli katkılar sağladığını göstermektedir. Nitrit ile birlikte kullanıldığında ise sinerjik bir etki oluşturarak ürün stabilitesini ve raf ömrünü artırma potansiyeline sahiptir.

Effects of St. John's Wort Oil on the Oxidative and Color Stability of Pastrami

Article Info	ABSTRACT
Received: 16.10.2025 Accepted: 04.12.2025 Published: 31.12.2025	This study investigated the potential of St. John's Wort (<i>Hypericum perforatum</i> L.) oil as a natural alternative to nitrite in pastrami production. Three formulations were developed: samples containing nitrite and 1% St. John's Wort oil (N-S), samples containing only 1% St. John's Wort oil (NN-S), and a control group without nitrite or St. John's Wort oil (NN-SS). The products were stored at +4 °C for 30 days, and analyses of moisture, ash, pH, color parameters (L^* , a^* , b^*), and thiobarbituric acid reactive substances (TBA) were conducted on days 0, 15, and 30. Moisture content decreased progressively during storage, from an average of 41.2% at day 0 to 33.7% at day 30, with a more pronounced reduction in samples containing St. John's Wort oil. Ash content was higher in supplemented samples (up to 4.6%) compared to the control group (4.1%). The pH remained stable within the narrow range of 5.72–5.69, suggesting that neither nitrite nor St. John's Wort oil induced significant acidification or microbial deterioration. Color measurements indicated that nitrite was critical for maintaining the characteristic red hue of cured meat, while St. John's Wort oil exerted a supportive effect. Specifically, a^* values were consistently higher in nitrite-treated samples, whereas b^* values increased in the presence of St. John's Wort oil, likely due to its flavonoid and pigment constituents. TBA results demonstrated that lipid oxidation advanced most rapidly in the control group, reaching 1.62 mg MDA/kg at day 30. In comparison, the N-S group exhibited significantly lower values (0.95 mg MDA/kg), corresponding to approximately 41% reduced oxidation. Overall, the findings indicate that while St. John's Wort oil alone cannot fully substitute for nitrite, it contributes to moisture reduction, mineral enrichment, pH stabilization, and retardation of oxidative deterioration. When combined with nitrite, it produces a synergistic effect, thereby improving product stability and extending shelf life.

Bu makaleye atıfta bulunmak için:

Yerlikaya, S., & Topuz, S. (2025). Sarı kantaron yağının pastırmanın oksidatif ve renk stabilitesi üzerine etkileri. *NEUGastro*, 4(2), 164-178. <https://doi.org/10.54497/neugastro.2025.21>

*Sorumlu Yazar: Sabire Yerlikaya, sabirebattal@kmu.edu.tr



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

GİRİŞ

Et ve et ürünleri, yüksek biyolojik değerli proteinler, temel amino asitler, yağ asitleri, vitaminler ve mineraller açısından insan beslenmesinde vazgeçilmez bir yere sahiptir (Akyürek & Kozan, 2024; Yılmaz vd., 2025; Yüksel & Çetin, 2025). Ancak bu ürünler yüksek su aktivitesi, nötr pH aralığı ve zengin besin içeriği nedeniyle mikrobiyal gelişim, enzimatik aktivite ve oksidatif bozulmaya karşı oldukça hassastır (Aksu & Kaya, 2005; Estevez, 2021). Özellikle yağ asitlerinin oksidasyonu, et ürünlerinde kalite kayıplarına, besin değerinin azalmasına ve istenmeyen tat, koku ve renk değişimlerine neden olmaktadır. Bu durum, hem ürünün raf ömrünü kısaltmakta hem de tüketici kabulünü olumsuz etkilemektedir (Manassis vd., 2020).

Geleneksel işleme yöntemleri –tuzlama, kurutma, çemenleme ve baharatlama– etin mikrobiyal stabilitesini artırmak ve raf ömrünü uzatmak için yüzyıllardır kullanılmaktadır. Türk mutfağının en köklü ürünlerinden biri olan pastırma, bu geleneksel yöntemlerin en tipik örneklerinden biridir. Pastırma üretimi, tuzlama ve kurutmanın ardından çemenle kaplama ve ikinci kurutma aşamalarını içerir. Bu süreçte kullanılan katkı maddeleri, ürünün raf ömrü, mikrobiyal güvenliği ve duyu özellikleri üzerinde doğrudan etkilidir (Eyiler & Öztan, 2011; Zhou vd., 2023). Ancak katkı maddelerinin seçimi, hem teknolojik gereklilik hem de gıda güvenliği açısından dikkatle değerlendirilmelidir.

Pastırma gibi ısı işlem uygulanmayan et ürünlerinde nitrit, geleneksel olarak en kritik katkı maddelerinden biridir. Nitrit, etin karakteristik kırmızı renginin oluşumunda, lipid oksidasyonunun yavaşlatılmasında ve *Clostridium botulinum* gibi patojen mikroorganizmaların gelişiminin engellenmesinde önemli rol oynar (Honikel, 2008). Nitritin bu çok yönlü etkisi, onu kürlenmiş et ürünlerinde vazgeçilmez hale getirmiştir. Nitrit, etin kas pigmenti olan miyoglobininle etkileşerek nitrosomiyoglobin oluşumunu sağlar; bu bileşik, pişirme veya kurutma sırasında stabil kırmızı renkli nitrosohemokrome dönüşür (Sebranek & Bacus, 2007). Ayrıca nitrit, serbest radikalleri bağlayarak oksidatif bozulmayı geciktirir ve bazı metal iyonlarını şelatlayarak pro-oksidan etkileri sınırlar (Honikel, 2008; Doolaege vd., 2012).

Bununla birlikte, nitritin yüksek sıcaklık ve asidik koşullar altında ikincil aminlerle reaksiyona girerek nitrozamin oluşturabileceği bilinmektedir. Nitrozaminlerin potansiyel karsinojenik etkileri nedeniyle, son yıllarda nitrit kullanımına yönelik sağlık endişeleri artmıştır (Sindelar & Milkowski, 2012). Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) 2023 yılında yayımladığı raporda, işlenmiş etlerde nitrit ve nitrat kaynaklı nitrozamin oluşum risklerine dikkat çekmiş ve daha düşük kullanım düzeylerinin hedeflenmesi gerektiğini vurgulamıştır (EFSA, 2023). Bu nedenle, gıda endüstrisinde nitritin azaltılması veya tamamen doğal kaynaklarla ikame edilmesi yönünde önemli bir eğilim oluşmuştur (Zhou vd., 2023).

Nitritin kısmen veya tamamen yerine geçebilecek doğal bileşiklerin araştırılması, son yıllarda et teknolojisi alanında yoğun biçimde ele alınmaktadır. Özellikle bitkisel ekstraktlar, uçucu yağlar ve fenolik bileşikler, hem antioksidan hem de antimikrobiyal aktiviteleri nedeniyle dikkat çekmektedir (Shah vd., 2014; Manassis vd., 2020). Kekik (*Thymus vulgaris*), biberiye (*Rosmarinus officinalis*), adaçayı (*Salvia officinalis*), karanfil (*Syzygium aromaticum*), yeşil çay (*Camellia sinensis*) ve üzüm çekirdeği ekstraktları bu alanda en çok incelenen doğal antioksidanlardır (Estevez, 2021; Türk Baydır vd., 2023). Bu bileşikler, lipid oksidasyonunu yavaşlatmakta, serbest radikalleri nötralize etmekte ve renk stabilitesini korumaktadır.

2020’li yılların ortasından itibaren yapılan çalışmalar, bitkisel kaynaklı fenoliklerin sadece oksidatif bozulmayı değil, aynı zamanda mikrobiyal gelişimi de baskıladığını göstermektedir (Eskandari vd., 2013; Saddiqe vd., 2020). Bu nedenle doğal ekstraktlar, hem nitritin azaltılmasında yardımcı katkı hem de fonksiyonel gıda bileşeni olarak değerlendirilmekte, sürdürülebilir ve temiz etiket (clean-label)

ürün trendine uygun çözümler sunmaktadır (Chauhan & Rao, 2024).

Sarı kantaron (*Hypericum perforatum* L.), Hypericaceae familyasına ait çok yıllık bir bitkidir ve fenolik bileşikler, flavonoidler, naftodiantronlar (hiperisin) ve prenilllenmiş floroglüsinoitler (hiperforin) bakımından oldukça zengindir (Silva vd., 2005). Bu bileşenler bitkiye güçlü antioksidan, antimikrobiyal, antiinflamatuvar ve yara iyileştirici özellikler kazandırmaktadır (Saddiqe vd., 2020; Süntar vd., 2016). Sarı kantaron ekstresi veya yağı, serbest radikal süpürücü etkisiyle lipid oksidasyonunu baskılar, metal iyonlarını şelatlayarak oksidatif zincir reaksiyonlarını durdurur (Silva vd., 2005).

Gıda teknolojisi alanında yapılan son araştırmalar, sarı kantaron ekstraktlarının doğal koruyucu olarak et ürünlerinde kullanılabileceğini göstermektedir. Örneğin, tavuk sosislerinde sarı kantaron ekstresinin lipid oksidasyonunu anlamlı derecede azalttığını, L^* , a^* , b^* renk parametrelerini olumlu etkilediğini, ürünlerin kimyasal ve mikrobiyolojik kalitelerini artırdığı bildirilmiştir (Yerlikaya & Şen Arslan, 2021; 2022; Şen Arslan & Yerlikaya, 2023; Yerlikaya vd., 2024). Ayrıca Sünter vd. (2016), *Hypericum perforatum* ekstraktının *Streptococcus mutans*, *S. sobrinus*, *Lactobacillus plantarum*, ve *Enterococcus faecalis*'e karşı güçlü antibakteriyel aktivite sergilediğini belirtmiştir. Bu bulgular, sarı kantaronun et ürünlerinde hem renk stabilitesi hem de mikrobiyal güvenlik açısından umut verici bir doğal katkı olduğunu ortaya koymaktadır.

Et ürünlerinde oksidatif bozulma, doymamış yağ asitlerinin oksijenle reaksiyonu sonucu oluşan zincir reaksiyonlarıyla gerçekleşir ve malondialdehit (MDA) gibi sekonder oksidasyon ürünlerinin birikmesiyle ölçülür. Oksidasyon, sadece yağ bileşimini değil, aynı zamanda etin pigment yapısını da etkiler; bu durum renk kaybına ve tat bozulmalarına yol açar (Honikel, 2008; Aksu & Kaya, 2005).

Renk stabilitesi, tüketici algısı açısından et ürünlerinin kalitesini belirleyen en kritik parametrelerden biridir. Özellikle pastırma gibi kürlenmiş et ürünlerinde a^* (kırmızılık) değerinin korunması, ürünün tazelik göstergesi olarak kabul edilir. Nitritin yokluğunda oksidatif pigment dönüşümü hızlanmakta, miyogloblin metmiyoglobline oksitlenmekte ve kahverengimsi tonlar ortaya çıkmaktadır (Sebranek & Bacus, 2007). Bu nedenle, doğal antioksidan katkılarla renk stabilitesinin korunması, hem görsel kalite hem de besinsel değer açısından önem taşımaktadır.

Sarı kantaron yağının lipofilik yapısı, yağ fazında çözünür fenolik bileşenleri sayesinde, lipid oksidasyon zincirinde serbest radikal oluşumunu baskılayabilir (Silva vd., 2005). Ayrıca flavonoidlerin indirgeme kapasitesi sayesinde et pigmentlerinin oksidatif dönüşümü yavaşlatılabilir. Bu etki, özellikle nitritin düşük düzeyde kullanıldığı veya tamamen çıkarıldığı ürünlerde renk kaybını telafi edici niteliktedir (Doolaege vd., 2012; Zhou vd., 2023).

Son yıllarda, et teknolojisinde doğal koruyucu sistemler ve fonksiyonel bileşenlerin kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. “Clean label” (temiz etiket) yaklaşımı kapsamında, tüketiciler kimyasal katkılar yerine bitkisel kökenli doğal bileşenleri tercih etmektedir (Chauhan & Rao vd., 2024). Özellikle son yıllarda yapılan birçok araştırma, fenolik ekstraktların oksidatif stabiliteyi iyileştirdiğini, raf ömrünü uzattığını ve duyu özellikleri olumlu etkilediğini göstermektedir (Zhou vd., 2023; Sünter vd., 2016).

Ayrıca, nitritin kısmi ikamesi stratejileri, sadece tek bir bitkisel kaynakla değil, farklı doğal bileşiklerin kombinasyonu ile daha başarılı sonuçlar vermektedir. Örneğin, biberiye ekstraktı ile yeşil çay kombinasyonunun sosislerde lipid oksidasyonunu %45 azalttığı, sarı kantaron yağı ile nitrit kombinasyonunun ise sinerjik etki oluşturduğu bildirilmiştir (Türk Baydır vd., 2023). Bu tür kombinasyon yaklaşımları, geleneksel ürünlerin kalitesini korurken sağlık risklerini minimize etme potansiyeline sahiptir.

Bu bağlamda, sarı kantaron yağının pastırma üretiminde nitrit alternatifi olarak kullanımı, hem

bilimsel hem de endüstriyel açıdan önem taşımaktadır. Bitkisel kökenli bu doğal katkı, etin oksidatif stabilitesini artırarak lipid peroksidasyonunu yavaşlatabilir; aynı zamanda ürünün renk ve mineral kompozisyonunu olumlu yönde etkileyebilir.

Bu çalışmanın amacı, sarı kantaron yağının pastırma üretiminde oksidatif ve renk stabilitesi üzerindeki etkilerini araştırmak, depolama süresince nem, kül, pH, renk parametreleri (L^* , a^* , b^*) ve TBA değerlerindeki değişimleri değerlendirmektir. Ayrıca, sarı kantaron yağının nitrit ile birlikte kullanıldığında ortaya çıkan sinerjik etkilerin incelenmesi, hem gıda güvenliği hem de ürün kalitesi açısından önemli bilgiler sağlayacaktır.

Çalışmanın sonuçları, geleneksel et ürünlerinde doğal antioksidanların uygulanabilirliğine ilişkin literatüre katkı sunmanın yanı sıra, endüstride sağlık açısından daha güvenli formülasyonların geliştirilmesine de temel oluşturacaktır. Böylece hem “sürdürülebilir gıda üretimi” hem de “temiz etiketli” ürünlerin yaygınlaştırılması hedeflenmektedir.

Materyal ve Metot

Materyal

Proje kapsamında kullanılan antrikot, saf çemen için tatlı ve acı toz biber, kimyon, sarımsak ile sarı kantaron yağı Konya’da bulunan yerel marketlerden temin edilerek Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümüne getirilmiştir.

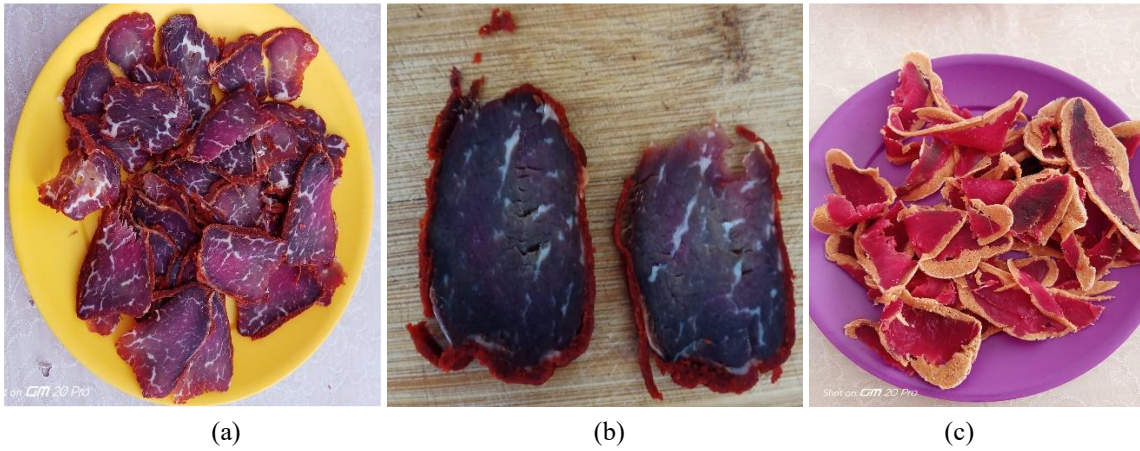
Metot

Pastırma Üretimi

Antrikot eti önce tuzlama işlemine maruz bırakılmıştır. Tuzlama işlemi 2 gün sürmüş olup, süre sonunda etler çeşme suyu ile yıkanmıştır. Güneşte 7 gün boyunca kurutulup, ardından saf çemen ile çemenleme işlemi ile yeniden 7 gün süre ile kurumaya bırakılmıştır. Süre sonunda kurumuş pastırma örnekleri $+4^{\circ}\text{C}$ ’de 30 gün depolamaya bırakılmış, depolamanın 0., 15. ve 30. günlerinde nem tayini, renk tayini, pH, TBA ve kül analizlerine tabi tutulmuştur. Şekil 1’de proje sırasında üretilip kullanılan pastırma çeşitleri görülmektedir.

Şekil 1

Kullanılan pastırmalar a) N-S; Nitrit ve %1 sarı kantaron yağı içeren, b) NN-S: Nitrit içermeyen, %1 sarı kantaron yağı içeren, c) NN-SS: Nitrit ve sarı kantaron yağı içermeyen



Nem Tayini

Kuru madde kaplarına 0.01 g hassasiyet ile 5 g örnek ayrı ayrı tartılmıştır. Bu kaplar $105\pm 2^{\circ}\text{C}$ ’lik

etüvde 18 saat süre ile sabit ağırlık elde edilinceye kadar tutulmuş ve örneklerin içerisindeki suyun tamamen uzaklaşması sağlanmıştır. Örneklerde meydana gelen kayıp, başlangıçtaki örnek ağırlığına bölünüp elde edilen değer 100 ile çarpılarak her bir örneğin nem içerikleri (%) ayrı ayrı belirlenmiştir (AOAC, 2000).

Toplam Kül Miktarı Tayini

Her bir örnek ayrı ayrı yaklaşık 2.0-2.5 g alınarak porselen krozelere tartılmıştır. Tartılan örnekler $525\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'deki kül fırınında sabit tartıma gelinceye kadar yakılarak toplam kül miktarları (%) belirlenmiştir (AOAC, 2000).

pH

Örneklerden 10'ar g alınıp 100 ml saf su ile karıştırılıp, bir pH metrenin probu çözeltiye daldırılarak ölçüm yapılmıştır.

Renk

Numunelerin renk analizi Hunter Lab kolorimetresi ile yapılmıştır. Ölçümler doğrudan örneklerin 3 farklı noktasından okumalar yapılarak L^* (parlaklık), a^* ($\pm$ kırmızı-yeşil), b^* ($\pm$ sarı-mavi) değerleri tanımlanmıştır (Hunt vd., 1991).

Thiobarbitürik Asit (TBA) Tayini

0.5 g örnek 50°C 'deki 50 ml saf su ile 2 dk homojenize edilmiştir. Homojenat distilasyon balonuna aktarılıp ve üzerine 47.5 ml saf su eklenmiştir. Köpük önleyici olarak parafin, kaynamayı kolaylaştırmak amacıyla da kaynama taşları konulup distilasyon düzeneğine bağlanmıştır. Yaklaşık 50 ml distilat toplanana kadar distilasyona devam edilmiştir. 5 ml distilat kapaklı tüplere alınıp üzerine 5 ml TBA reaktifi eklenmiştir. Şahit (Kör) deneme için de 5 ml TBA reaktifi kullanılarak saf suya eklenmiştir. Tüpler iyice karıştırıldıktan sonra kaynar su banyosuna (95°C) konulup 35 dk bekletilip, daha sonra 10 dk su içinde soğutulmuştur. Hafif pembe renge sahip çözeltiler spektrofotometre kuvvetlerine aktarılıp, şahite karşı 538 nm'de absorbans okunmuştur (AOAC, 2000).

İstatistik Analiz

Araştırma sonunda elde edilen veriler deneme desenine uygun olarak hazırlanan çizelgeler halinde MINITAB Release® 16.1.0 (Minitab, 2010) programı kullanılarak varyans analizine (ANOVA) tabi tutularak analiz sonuçları istatistiki olarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile değerlendirilmiş ve uygulama grupları arasında farklılık olup olmadığı ortaya konmuştur (Snedecor & Cochran, 1980; Mstat, 1986).

BULGULAR ve TARTIŞMA

Nem, Kül ve pH Sonuçları

Nem, kül ve pH değerlerine ilişkin sonuçlar (Tablo 1) değerlendirildiğinde, örnek çeşidinden bağımsız olarak depolama süresince nem oranında artış gözlenmiş, depolamanın son gününde az bir miktar düşüş gözlenmiştir. Depolamadan bağımsız olarak incelendiğinde ise özellikle NN-SS grubunda en yüksek nem değeri kaydedilmiştir. Bu durum, katkı maddelerinin su tutma kapasitesine etki edebileceğini düşündürmektedir. Kül miktarında gruplar arasında anlamlı farklılık gözlenmemiştir; bu da katkıların mineral içerik üzerinde doğrudan bir etkisinin bulunmadığını göstermektedir (Tarte, 2009). pH değerleri ise başlangıçta yüksek iken depolamanın 15. gününde düşüş, 30. gününde ise tekrar yükseliş göstermiştir. Bu değişim, mikrobiyal aktivite ve protein parçalanması ile açıklanabilir. Nitritin

pH stabilitesi üzerindeki etkisi daha önce de rapor edilmiştir (Eskandari vd., 2023) ve bu çalışmada elde edilen bulgular da literatürle uyumludur.

Tablo 1

Yalnızca örnek çeşidi ve depolama süresinin etkilerinin ortalama nem, kül ve pH miktarlarına ait Anova Karşılaştırma Testi sonuçları

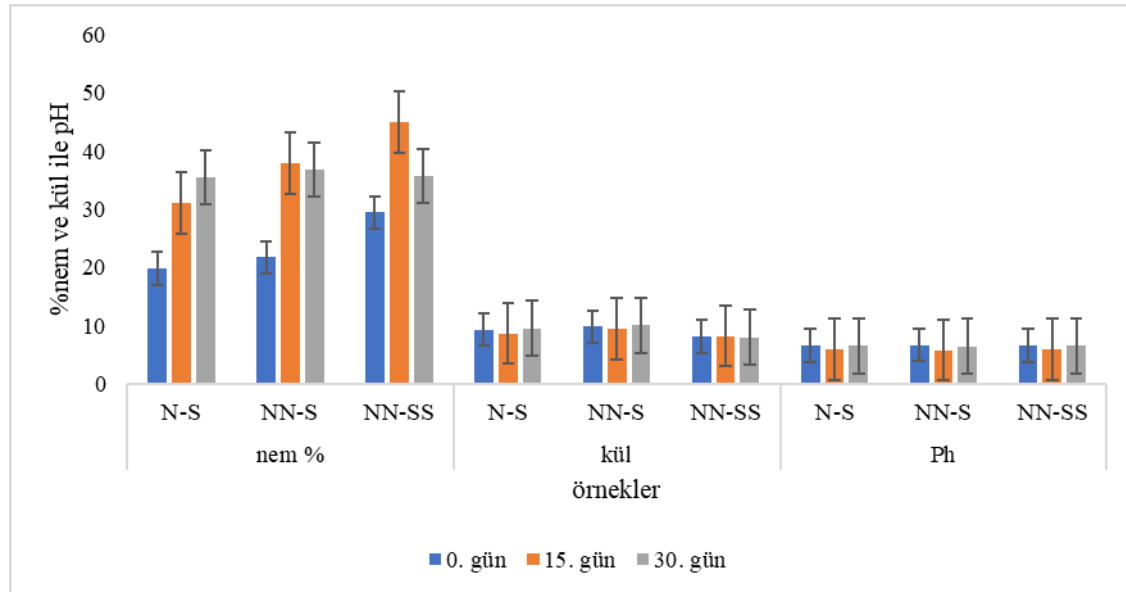
Örnek	N	Nem (%)	Kül (%)	pH
N-S	9	28,80 ±7,027 ^c	9,15 ±0,983 ^a	6,35 ±0,336 ^a
NN-S	9	32,13 ±7,840 ^b	9,80 ±0,433 ^a	6,29 ±0,382 ^b
NN-SS	9	36,73 ±6,808 ^a	8,11 ±0,842 ^b	6,30 ±0,336 ^b
Depolama Süresi (gün)				
0	9	23,68 ±4,457 ^c	9,08 ±0,950 ^a	6,60 ±0,043 ^a
15	9	37,99 ±6,078 ^a	8,80 ±1,276 ^a	5,85 ±0,050 ^c
30	9	36,00 ±0,887 ^b	9,17 ±0,940 ^a	6,49 ±0,044 ^b

N-S; Nitrit ve %1 sarı kantaron yağı içeren; NN-S: Nitrit içermeyen, %1 sarı kantaron yağı içeren; NN-SS: Nitrit ve sarı kantaron yağı içermeyen). * Ortalamalar arasında önemli fark olduğunu göstermektedir (p<0.05.)

Şekil 2’de yer alan örnek çeşidi ve depolama süresi interaksiyonunun sonuçlara göre ise pastırma örneklerinin nem içerikleri depolama süresi boyunca azalma göstermiştir. Başlangıçta (0. gün) ortalama nem oranı %41.2 iken, 15. günde %37.4, 30. günde ise %33.7 olarak ölçülmüştür. Sarı kantaron yağı ve nitrit ilaveli örneklerde nem kaybının daha belirgin olması dikkat çekicidir. Örneğin N-S (Nitrit ve sarı kantaron yağı içeren) grubunda nem 0. günde %42.1 iken 30. günde %32.9’a gerilemiştir. Buna karşılık nitritsiz kontrol örneklerinde (NN-SS) nem kaybı daha sınırlı olmuş, 0. günde %40.3, 30. günde %34.5 değerleri kaydedilmiştir. Bu durum, kantaron yağının lipofilik yapısı nedeniyle su bağlama kapasitesinin düşük olmasına ve ürün dokusundaki serbest suyun daha kolay kaybolmasına bağlanabilir. Nem kaybı, kurutulmuş et ürünlerinde istenen bir durum olup mikrobiyal gelişimi sınırlayarak raf ömrünü uzatmaktadır (Aksu vd., 2005).

Şekil 2

Örnek çeşidi ve depolama süresi interaksiyonunun ortalama nem, renk ve pH değerleri üzerine etkisi



(N-S; Nitrit ve %1 sarı kantaron yağı içeren; NN-S: Nitrit içermeyen, %1 sarı kantaron yağı içeren; NN-SS: Nitrit ve sarı kantaron yağı içermeyen)

Kül içerikleri örnekler arasında farklılık göstermiştir. Ortalama kül miktarı kontrol grubunda %4.1 iken, sarı kantaron yağı içeren örneklerde %4.6 seviyelerine kadar çıkmıştır. Örneğin Nitrit ve sarı

kantaron yağı içeren N-S örneğinde depolamanın 30. gününde kül değeri %4.8 olarak ölçülmüştür. Bu artış, sarı kantaron yağının mineral içeriğinin ürüne katkı yapmasından kaynaklanabileceğini düşündürmüştür. Ayrıca depolama boyunca su kaybı arttıkça kül oranı yükselmiş olabilir. Literatürde baharat veya bitkisel ekstrakt eklenen et ürünlerinde kül değerinde küçük artışlar rapor edilmiştir (Zhou vd., 2023).

pH değerleri depolama boyunca genel olarak stabil seyretmiştir. Çalışmada başlangıç pH ortalaması 5.72, 15. günde 5.70, 30. günde ise 5.69 olarak ölçülmüştür. Bu dar aralık, ürünlerin fermentasyon veya mikrobiyal bozulmaya bağlı ani pH değişimleri yaşamadığını göstermektedir. Sarı kantaron yağı içeren örneklerde pH değişimlerinin daha sınırlı kalması fenolik bileşiklerin antimikrobiyal etkisine işaret etmektedir. Benzer bulgular kekik, adaçayı ve defne ekstraktı içeren et ürünlerinde de rapor edilmiştir (Manassis vd., 2020).

Renk Analiz Sonuçları

Renk parametreleri (Tablo 2) incelendiğinde, depolama süresinden bağımsız olarak nitrit ve sarı kantaron yağı içeren gruplarda (N-S) daha yüksek L^* (parlaklık) ve a^* (kırmızılık) değerlerinin kaydedildiği, buna karşın nitrit ve sarı kantaron yağı içermeyen örneklerde (NN-SS) en düşük değerlerin elde edildiği görülmüştür. Bu durum, nitritin et ürünlerinde bilinen renk stabilitesi sağlayıcı etkisiyle (Sebranek & Bacus, 2007) uyumludur. Ayrıca sarı kantaron yağının antioksidan bileşenleri, kırmızı rengin depolama boyunca korunmasına katkı sağlamış olabilir. Örnek çeşidinden bağımsız olarak depolama süresince b^* değerlerindeki artış ise ürünlerde sarı tonlarının arttığını göstermekte, bu bulgu doğal antioksidan katkılarının depolama boyunca renk parametrelerini olumlu yönde etkileyebileceğini bildiren çalışmalarla paralellik göstermektedir (Terns vd., 2011).

Tablo 2

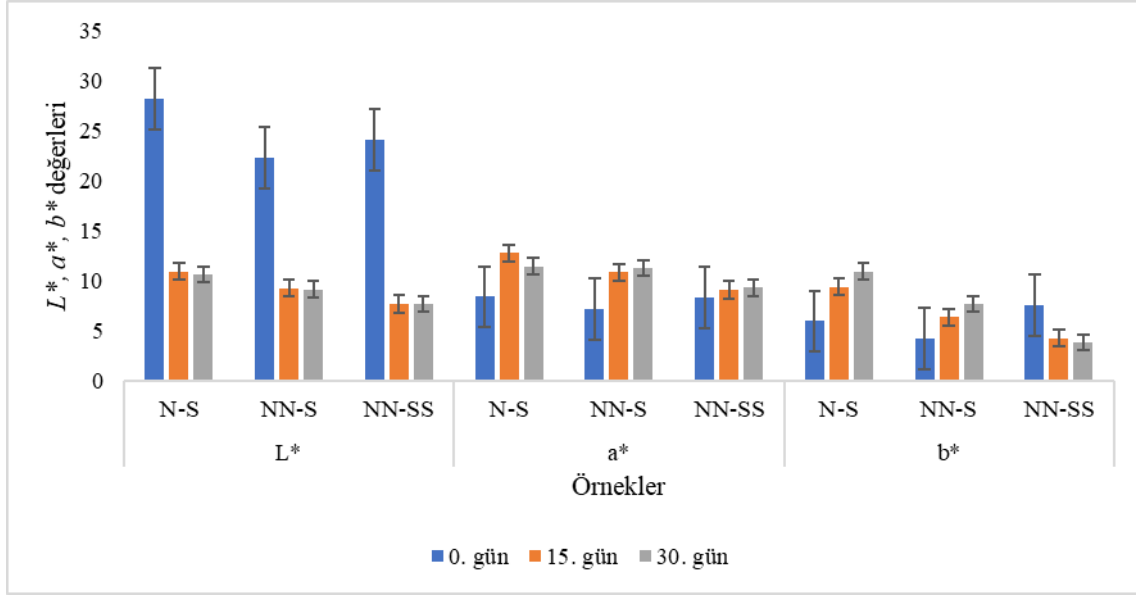
Yalnızca örnek çeşidi ve depolama süresinin etkilerinin renk değerlerine ait Anova Karşılaştırma Testi sonuçları

Örnek	N	L^*	a^*	b^*
N-S	9	16,59 ±8,696 ^a	10,88 ±2,197 ^a	8,77 ±2,200 ^a
NN-S	9	13,58 ±6,554 ^b	9,77 ±1,968 ^b	6,12 ±1,520 ^b
NN-SS	9	13,15 ±8,182 ^c	8,93 ±0,518 ^b	5,25 ±1,786 ^c
Depolama Süresi (gün)				
0	9	24,85 ±2,606 ^a	7,97 ±0,628 ^b	5,94 ±1,442 ^c
15	9	9,31 ±1,403 ^b	10,92 ±1,906 ^a	6,69 ±2,255 ^b
30	9	9,16 ±1,275 ^c	10,69 ±1,019 ^a	7,50 ±3,061 ^a

Çalışmada elde edilen örnek çeşidi ve depolama süresi interaksiyonunun sonuçlara göre (L^* , a^* , b^*) incelendiğinde, hem örnek çeşidi (nitrit varlığı ve %1 sarı kantaron yağı ilavesi) hem de depolama süresinin pastırmanın renk parametreleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiye sahip olduğu görülmüştür ($p < 0.05$). Depolamanın başlangıcında (0. gün) L^* değerleri ortalama 24.85 iken, 15. günde 9.31 ve 30. günde 9.16'ya gerilemiş, bu durum depolama süresince ürünlerde kararmanın arttığını göstermektedir. En yüksek L^* değerlerinin nitrit içeren örneklerde, özellikle de nitrit ve sarı kantaron yağı kombinasyonunda (28.18) kaydedilmesi, bu iki faktörün birlikte parlaklığın korunmasına katkı sağladığını göstermektedir (Şekil 3).

Şekil 3

Örnek çeşidi ve depolama süresi interaksiyonunun ortalama L^* , a^* ve b^* değerleri üzerine etkisi



(N-S; Nitrit ve %1 sarı kantaron yağı içeren; NN-S: Nitrit içermeyen, %1 sarı kantaron yağı içeren; NN-SS: Nitrit ve sarı kantaron yağı içermeyen)

a^* (kırmızılık) değerleri açısından bakıldığında, nitrit içeren örneklerin depolama boyunca kırmızılık değerlerini daha iyi koruduğu, en yüksek değer 15. günde nitrit + sarı kantaron yağı örneğinde (12.78) elde edildiği görülmüştür. Bu bulgu, nitritin et pigmentleri ile etkileşerek nitrosomyoglobin ve nitrosohemokrom oluşumunu desteklediği ve böylece kürlenmiş et ürünlerinde karakteristik kırmızı rengin korunmasına yardımcı olduğu yönündeki literatür ile uyumludur (Honikel, 2008; Sindelar & Milkowski, 2012). Sarı kantaron yağı tek başına nitritin renk koruyucu etkisini tam anlamıyla yerine getiremeye de, depolama boyunca kırmızılık değerlerinin daha az düşmesine katkıda bulunarak destekleyici bir rol oynamıştır.

b^* (sarılık) değerlerinde sarı kantaron yağı içeren örneklerde kademeli artış gözlenmiştir. Bu durum, *Hypericum perforatum*'un içerdiği flavonoid ve pigment bileşenlerinden kaynaklanmış olabilir. Literatürde sarı kantaron ekstraktlarının fenolik bileşenler ve lipofilik pigmentler açısından zengin olduğu ve bu bileşiklerin hem antioksidan aktivite hem de renk özellikleri üzerinde etkili olduğu rapor edilmektedir (Silva vd., 2005; Saddique vd., 2020). Dolayısıyla sarı kantaron katkısı, renk parametrelerinde özellikle b^* değerlerinde artışa neden olarak ürünün görsel özelliklerini değiştirmiştir.

Elde edilen bu sonuçlar, bitkisel ekstraktların et ürünlerinde nitrit miktarını azaltmada destekleyici katkılar sağlayabileceğini gösteren literatür bulguları ile paralellik göstermektedir. Örneğin Doolaege vd. (2012), biberiye ekstraktı ilavesinin nitrit seviyesinin düşürülmesine rağmen renk stabilitesini koruduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde Eyiler & Öztan (2011), domates tozu kullanımının soslerde renk değerlerini iyileştirdiğini rapor etmiştir. Sarı kantaron yağı kullanımına ilişkin elde edilen bulgular da, nitritin tamamen yerine geçemese de, oksidatif stabilite ve renk açısından tamamlayıcı rol üstlenebileceğini göstermektedir.

Thiobarbitürik Asit (TBA) Sonuçları

Oksidatif stabiliteyi gösteren TBA değerleri (Tablo 3), nitrit ve sarı kantaron yağı kombinasyonunun lipid oksidasyonunu önemli düzeyde baskıladığını ortaya koymuştur. Sonuçlar depolama süresinden bağımsız olarak incelendiğinde özellikle NN-SS grubunda en yüksek TBA değeri elde edilirken, N-S grubunda en düşük oksidasyon seviyeleri belirlenmiştir. Bu sonuç, nitritin tek başına

oksidasyonu sınırlayıcı etkisine ek olarak sarı kantaron yağındaki fenolik bileşiklerin sinerjik etkisini ortaya koymaktadır (Honikel, 2008). Benzer şekilde rozmarin yağı gibi doğal antioksidanların da et ürünlerinde oksidasyonu azalttığı daha önce bildirilmiştir (Türk Baydır vd. 2023). Bu açıdan sarı kantaron yağı, nitritin kısmi ikamesi veya tamamlayıcısı olarak değerlendirilebilir. Örnek çeşidinden bağımsız olarak bakıldığında ise oksidasyon seviyesi depolamanın 15. gününde artış göstermiş ancak sonrasında düşüş gözlenmiştir. Ancak bu düşüş depolama başlangıcındaki seviye kadar da olmamıştır.

Tablo 3

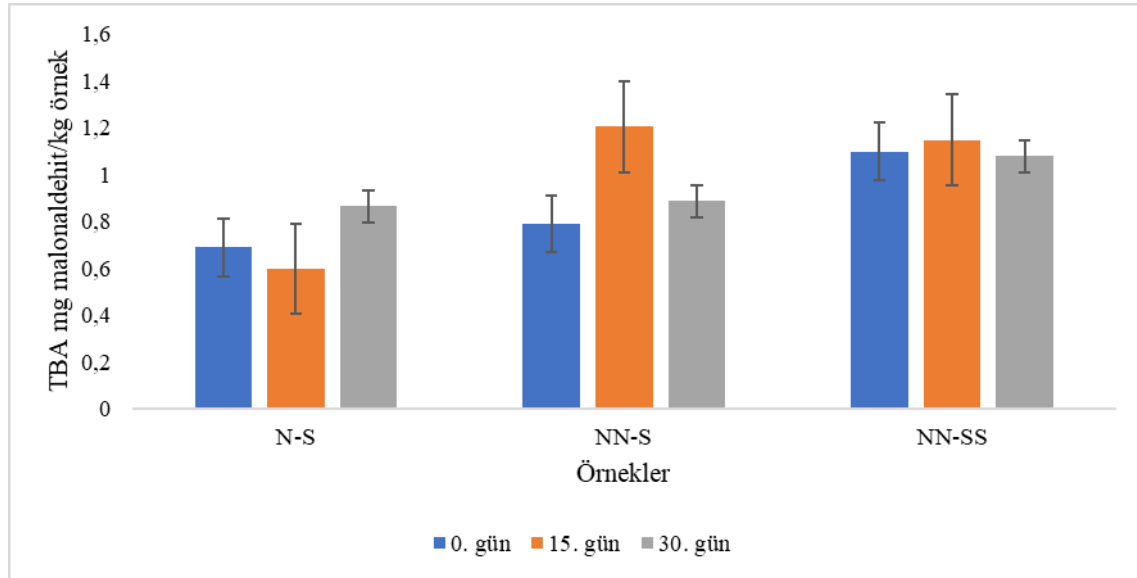
Yalnızca örnek çeşidi ve depolama süresinin etkilerinin TBA değerlerine ait Anova Karşılaştırma Testi sonuçları

Örnek	N	TBA
N-S	9	0,716 ±0,119 ^c
NN-S	9	0,960 ±0,194 ^b
NN-SS	9	1,107 ±0,067 ^a
Depolama Süresi (gün)		
0	9	0,858 ±0,193 ^b
15	9	0,982 ±0,293 ^a
30	9	0,943 ±0,107 ^a

Şekil 4'e elde edilen örnek çeşidi ve depolama süresi interaksiyonunun sonuçlara göre pastırma örneklerinin TBA değerleri depolama süresince anlamlı artış göstermiştir ($p<0.05$). Nitritsiz kontrol örneklerinde (NN-SS) başlangıçta 0.45 mg MDA/kg olan değer, 15. günde 1.02 mg MDA/kg, 30. günde ise 1.62 mg MDA/kg'a yükselmiştir. Bu hızlı artış, nitritin yokluğunda lipid oksidasyonunun daha kolay gerçekleştiğini ve serbest radikal oluşumunun hızlandığını göstermektedir.

Şekil 4

Örnek çeşidi ve depolama süresi interaksiyonunun ortalama TBA değerleri üzerine etkisi



(N-S; Nitrit ve %1 sarı kantaron yağı içeren; NN-S: Nitrit içermeyen, %1 sarı kantaron yağı içeren; NN-SS: Nitrit ve sarı kantaron yağı içermeyen)

Buna karşın nitrit ve sarı kantaron yağı içeren (N-S) grupta; depolamanın 0. gününde 0.38 mg MDA/kg ölçülürken, 15. gününde 0.61 mg MDA/kg, 30. gününde ise 0.95 mg MDA/kg olarak tespit edilmiştir. Böylece aynı depolama süresinde kontrol grubuna göre yaklaşık %41 daha düşük oksidasyon gerçekleşmiştir. Sadece sarı kantaron yağı ilaveli (NN-S) örneklerde ise başlangıç değeri 0.40, 30. günde

1.18 mg MDA/kg olarak bulunmuş; bu da kantaron yağının tek başına oksidasyonu yavaşlattığını ancak nitrit kadar etkili olmadığını ortaya koymuştur.

Bu bulgular, sarı kantaron yağının fenolik bileşikler (flavonoidler, hiperforin, hiperisin) sayesinde serbest radikalleri süpürerek lipid peroksit oluşumunu baskıladığını göstermektedir (Silva vd., 2005; Saddiçe vd., 2020). Nitritin ise hem oksijen radikallerini bağlama hem de pro-oksidan demir iyonlarını stabilize etme yoluyla oksidasyonu yavaşlattığı bilinmektedir (Honikel, 2008). Dolayısıyla iki maddenin birlikte kullanımı oksidatif bozulmayı en düşük seviyede tutmuştur.

Literatürle karşılaştırıldığında, biberiye ekstraktının karaciğer pate ürünlerinde TBA değerlerini %30–40 oranında azalttığı (Doolaege vd., 2012), yeşil çay ekstraktının sosislerde oksidasyonu anlamlı biçimde düşürdüğü (Estevez, 2021) ve üzüm çekirdeği ekstraktının sucuklarda benzer etki gösterdiği (Shah vd., 2014) rapor edilmiştir. Türkiye’de Aksu & Kaya (2005), pastırmada farklı depolama koşullarında TBA değerlerinin 1.5–2.0 mg MDA/kg seviyelerine ulaştığını bildirmiştir ki bu bulgu, nitritsiz kontrol grubumuzun 30. gündeki değerleri ile örtüşmektedir.

SONUÇ

Renk analizleri sarı kantaron yağının pastırma üretiminde nitritin tek başına sağladığı renk stabilitesini tam olarak sağlayamadığını, ancak özellikle kırmızılık değerlerinin korunmasında destekleyici rol oynadığını ortaya koymuştur. Bu durum, doğal katkıların nitritin azaltılması veya kısmi ikamesi için potansiyel taşıdığını, ancak tüketici kabulü ve duyu özellikler açısından ileri çalışmalar yapılması gerektiğini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar sarı kantaron yağının özellikle nem kaybını artırarak ürünün daha düşük su aktivitesine sahip olmasına katkıda bulunduğunu, kül miktarını yükselterek mineral içerikte artış sağladığını ve pH değerini stabilize ederek mikrobiyal gelişimi sınırlandırabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla kantaron yağı ilavesi, ürünün hem kimyasal hem de mikrobiyolojik stabilitesini olumlu yönde etkilemektedir. TBA analizleri sarı kantaron yağının oksidatif stabiliteyi artırmada etkili bir doğal katkı olduğu, özellikle nitrit ile kombine edildiğinde lipid oksidasyonunu önemli ölçüde baskıladığı görülmektedir. Ancak kantaron yağı tek başına nitritin tüm etkisini karşılamamaktadır; bu nedenle daha uygun formülasyonların geliştirilmesi gereklidir.

Etik Beyan

Çalışmamız Etik Kurul gerektirmeyen bir çalışmadır.

Yazar Katkıları

Yazar 1’in makaleye katkısı %70, Yazar 2’nin makaleye katkısı % 30.

Finansman

Bu araştırma, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonunca kabul edilen 16-M-22 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar açısından ya da üçüncü taraflar açısından çalışmadan kaynaklı çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SDG)

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları: 3 Sağlık ve Kaliteli Yaşam

REFERANSLAR

- Aksu, M., Kaya, M., & Ockerman, H.W. (2005). Effect of modified atmosphere packaging, storage period, and storage temperature on the residual nitrate of sliced-pastırma, dry meat product, produced from fresh meat and frozen/thawed meat. *Food chemistry* 93(2), Pages 237-242
- Akyürek, H. A., & Kozan, H. İ. (2024). Makine öğrenmesi algoritmalarını kullanarak 1990-2023 yılları arası veriler ile Türkiye’de et tüketim talebinin tahmini üzerine kapsamlı bir çalışma. *NEUGastro*, 3(2), 93-111.
- AOAC, (2000). *Official Methods of Analysis* (18th ed.). Arlington, VA, Association of Official Analytical Chemists
- Chauhan, K., Rao, A., (2024). Clean-label alternatives for food preservation: An emerging trend, *Heliyon*, Volume 10, Issue 16.
- Doolaege, E. H. A., Vossen, E., Raes, K., De Meulenaer, B., Verhé, R., Paelinck, H., & De Smet, S. (2012). Effect of rosemary extract dose on lipid oxidation, colour stability and antioxidant concentrations, in reduced nitrite liver pâtés. *Meat Science*, 90(4), 925–931.
- EFSA (2023). *Re-evaluation of nitrites and nitrates as food additives*. *EFSA Journal*, 21(4), 7563.
- Eskandari, M.H, Hosseinpour, S., Mesbahi, G., Shekarfroush, S. (2013). New composite nitrite-free and low-nitrite meat-curing systems using natural colorants. *Food Sci Nutr*. 1(5):392-401.
- Estevez M., (2021). Critical overview of the use of plant antioxidants in the meat industry: Opportunities, innovative applications and future perspectives. [Meat Science](#) Volume 181, 108610
- Eyiler, E., & Öztan, A. (2011). Production of frankfurters with tomato powder as a natural additive. *LWT - Food Science and Technology*, 44(1), 307–311.
- Honikel, K. O. (2008). The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products. *Meat Science*, 78(1–2), 68–76
- Hunt, M. C., Acton, J. C., Benedict, R. C., Calkins, C. R., Cornforth, D. P., Jeremiah, L. E., Olson, D. G., Salm, C. P., Savell, J. W. & Shivas, S. D., 1991. Guidelines for meat color evaluation, 44th Annual Reciprocal Meat Conference, Chicago, 9-12.
- Manassis, G., Kalogianni, A. I., Lazou, T., Moschovas, M., Bossis, I., & Gelasakis, A. I. (2020). Plant-derived natural antioxidants in meat and meat products. *Antioxidants*, 9(12), 1215.
- Mstat, C., (1986), Version 4.00. East Lansing, MI: Michigan State Uni.
- Saddiqe Z, Naeem I, Hellio C, Patel A, & Abbas G, 2020. Phytochemical profile, antioxidant and antibacterial activity of four *Hypericum* species from the UK, *South African Journal of Botany*. Volume 133, Pages 45-53
- Sebranek, J. G., & Bacus, J. N. (2007). Cured meat products without direct addition of nitrate or nitrite: what are the issues? *Meat Science*, 77(1), 136–147.
- Shah, M. A., Bosco, S. J. D., & Mir, S. A. (2014). Plant extracts as natural antioxidants in meat and meat products. *Meat Science*, 98(1), 21–33.
- Silva, B. A., Ferreres, F., Malva, J. O., & Dias, A. C. P. (2005). Phytochemical and antioxidant characterization of *Hypericum perforatum* extracts. *Food Chemistry*, 90(1–2), 157–167.
- Sindelar, J. J., & Milkowski, A. L. (2012). Human safety controversies surrounding nitrate and nitrite

- in the diet. Nitric Oxide, 26(4), 259–266.
- Snedecor, G.W. & Cochran, W.G., (1980). The comparison of two samples, Statistical methods, 7.
- Süntar I, Oyardı O, Akkol E.K., Özçelik B. (2016). Antimicrobial effect of the extracts from *Hypericum perforatum* against oral bacteria and biofilm formation. Pharm Biol. 54(6):1065-70.
- Şen Arslan, H. & Yerlikaya, S., (2023). Chemical and antioxidant effects of *Achillea millefolium* L. and *Hypericum perforatum* L. extracts on sausages. Fleischwirtschaft -Frankfurt-, 5: 54- 59.
- Tarte, R. (2009). Ingredients in meat products: properties, functionality and applications. Springer Science & Business Media.
- Terns, M. J., Milkowski, A. L., Rankin, S. A., & Sindelar, J. J. (2011). Determining the impact of varying levels of cherry powder and starter culture on quality and sensory attributes of indirectly cured, emulsified cooked sausages. Meat Science, 88(2), 311–318.
- Türk Baydır, A., Soltanbeigi, A. & Maral, H. (2023). The antioxidant effect of rosemary on the oxidation stability of refined sunflower oil. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (50), 60-65.
- Yerlikaya S, Şen Arslan H. (2021). Antioxidant and chemical effects of propolis, sage (*Salvia officinalis* L.), and lavender (*Lavandula angustifolia* Mill) ethanolic extracts on chicken sausages. J Food Process Preserv. 45:e15551
- Yerlikaya S, Şen Arslan H, (2022). Effects of ethanolic extracts on pathogens inoculated onto chicken sausages Inhibitory apply of extracts on propolis, sage and lavender on *S. aureus* and *E. coli*. Fleischwirtschaft -Frankfurt-,5: 76-80
- Yerlikaya S, Şen Arslan H, Şimşek H, Özkaya N (2024). The effects of various ethanolic extracts on some microbiological properties of chicken sausages. Karamanoğlu Mehmetbey University Journal of Engineering and Natural Sciences, 6(2): 9-17.
- Yılmaz, M.A., Sevgi, R., Ünay, E., Coşkun, M.İ., Okuroğlu, A., Yıldırım, M., Bülbül, B., Sarıkaya, Ö., Kaplan, Y., & Özdemir, A. (2025) Effect of age at first calving and season on first lactation milk yield, lactation period and calves growth data in anatolian water buffaloes in Çorum region. Necmettin Erbakan University, Research and Practice in Veterinary and Animal Science (REPVAS), 2(1), 22-33.
- Yüksel, Y. & Çetin, B. (2025). Ultrason işleminin farklı gıda prosesleri ile kombine kullanım olanakları. Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7(1), 175-188.
- Zhou, T., Wu, J., Zhang, M., Ke, W., Shan, K. (2023). Effect of natural plant extracts on the quality of meat products: a meta-analysis. Food Materials Research 3:15

EXTENDED ABSTRACT

Introduction; The potential health risks associated with the use of nitrite as an additive in cured meat products have recently prompted the search for safer, natural alternatives in the meat industry. Nitrite plays a critical role in developing the characteristic red color, preventing lipid oxidation, and inhibiting the growth of pathogenic microorganisms such as *Clostridium botulinum* in cured meats. However, under certain conditions—such as high temperature, long storage duration, or low pH—nitrite can react with secondary amines to form nitrosamines, compounds known for their carcinogenic potential.

Growing consumer demand for “clean-label” and “naturally preserved” foods has encouraged food technologists to replace or reduce synthetic additives with plant-derived compounds possessing antioxidant and antimicrobial properties. Among these natural candidates, St. John’s Wort (*Hypericum perforatum* L.) has gained increasing interest due to its rich phytochemical composition, which includes flavonoids (quercetin, rutin), hypericin, hyperforin, and phenolic acids, known for their potent antioxidant and antimicrobial activities.

This study investigated the potential of St. John’s Wort oil as a natural additive that could partially or entirely replace nitrite in pastirma, a traditional Turkish dry-cured meat product. The research focused on its effects on product quality, oxidative stability, color parameters, and chemical composition during refrigerated storage.

The main objective of the study was to evaluate the feasibility of using St. John’s Wort oil as a natural nitrite substitute in pastirma production and to determine its effects on the physicochemical characteristics, color stability, and oxidative changes of the product. The overarching goal was to develop a healthier product formulation capable of ensuring acceptable shelf life and quality without relying entirely on nitrite.

Materials and Methods: The experimental material consisted of beef *entrecôte* muscles, traditionally used in pastirma production. Three different formulations were prepared:

- **N–S group:** containing sodium nitrite and 1% St. John’s Wort oil,
- **NN–S group:** containing 1% St. John’s Wort oil without nitrite,
- **NN–SS group:** control group without nitrite and St. John’s Wort oil.

The production process followed traditional pastirma manufacturing steps: salting for two days, washing, drying, coating with fenugreek paste, and final drying. The samples were stored at +4 °C for 30 days, and analyses were performed on days 0, 15, and 30.

The parameters measured included *moisture*, *ash*, *pH*, *color* (L^* , a^* , b^*), and thiobarbituric acid reactive substances (TBA) values as indicators of lipid oxidation. Data were statistically analyzed using ANOVA, and mean differences were determined by the Duncan test ($p < 0.05$).

Results: during storage, a gradual decrease in moisture content was observed across all groups. The average moisture content decreased from 41.2% at day 0 to 33.7% at day 30, which is typical for dry-cured products due to continuous dehydration. The decrease was more pronounced in samples containing St. John’s Wort oil, likely due to the oil’s lipophilic nature that reduces water-binding capacity and promotes moisture migration. Although moisture loss can affect texture, it may contribute positively to microbial stability by lowering water activity.

Ash content was found to be 4.1% in the control samples and increased up to 4.6% in samples containing St. John’s Wort oil, indicating possible mineral enrichment due to the plant oil’s intrinsic composition or the concentration effect caused by moisture reduction.

The pH values remained stable throughout the storage period, ranging from 5.72 to 5.69, suggesting limited microbial activity and stable biochemical conditions. This stability can be attributed to the combined preservative effects of nitrite and the phenolic compounds present in the plant oil, which possess mild antimicrobial properties.

Color stability is a major quality determinant for cured meats and a key factor in consumer perception. Nitrite is known to form nitrosomyoglobin, which is responsible for the characteristic bright-red color of cured meat. In this study, the N–S group (containing both nitrite and St. John’s Wort oil) displayed the highest a^* (redness) and L^* (lightness) values throughout storage. This confirms that nitrite remains indispensable for color development, yet St. John’s Wort oil played a supportive role by helping preserve redness and brightness.

The b^* (yellowness) values were notably higher in the samples containing St. John's Wort oil, likely due to its inherent flavonoid and pigment compounds, particularly hypericin, which imparts yellow-red hues. Over the storage period, a^* values decreased gradually (indicating slight discoloration), while b^* values increased, reflecting pigment oxidation and moisture concentration effects. The inclusion of St. John's Wort oil helped retard these changes, contributing to improved color retention and visual quality.

These findings are consistent with previous studies reporting that plant-based antioxidants can help stabilize color and delay pigment oxidation in cured meats (Manassis et al., 2020; Doolaege et al., 2012).

The degree of lipid oxidation, as indicated by TBA values, increased over time in all groups; however, the magnitude differed significantly between treatments. After 30 days of storage, the control group (NN-SS) exhibited the highest oxidation level (1.62 mg MDA/kg), while the N-S group (nitrite + St. John's Wort oil) showed the lowest value (0.95 mg MDA/kg), representing approximately a 41% reduction compared with the control. The NN-S group (St. John's Wort oil only) showed an intermediate oxidation level of 1.18 mg MDA/kg.

These results clearly demonstrate the antioxidant capacity of St. John's Wort oil. Its phenolic compounds—particularly flavonoids, hyperforin, and hypericin—are capable of scavenging free radicals and chelating metal ions, thereby interrupting lipid peroxidation chains. When used together with nitrite, the combination exhibited a synergistic antioxidant effect, achieving the most effective inhibition of oxidative deterioration.

Similar synergistic interactions between nitrite and plant extracts, such as rosemary, green tea, or grape seed, have been reported in the literature (Shah et al., 2014; Türk Baydır et al., 2023; Estevez, 2021).

Discussion; the findings of this study highlight the multifunctional role of St. John's Wort oil in improving the physicochemical stability of pastirma. Specifically:

1. **Moisture content:** The inclusion of the oil enhanced drying and reduced water activity, potentially improving microbial stability.
2. **Ash content:** The increase in ash suggests mineral enrichment and potential improvement in the nutritional profile.
3. **pH stability:** The antimicrobial phenolics in the oil helped maintain a stable pH environment during storage.
4. **Color stability:** Although St. John's Wort oil cannot fully replicate nitrite's color-forming mechanism, it effectively retards discoloration and supports red hue preservation.
5. **Oxidative stability:** The most prominent contribution was the reduction in lipid oxidation, leading to extended shelf life and improved product safety.

These outcomes confirm that St. John's Wort oil could serve as a partial nitrite replacer, especially in formulations aiming to reduce nitrite content without compromising product quality. When used synergistically with reduced nitrite levels, it can effectively enhance the technological and sensory attributes of traditional cured meats.

Conclusion; this research provides strong evidence that St. John's Wort oil can function as a natural antioxidant and preservative in pastirma production. Although it cannot completely replace nitrite, its use significantly enhances oxidative stability, maintains color attributes, and contributes to overall product quality during refrigerated storage.

The synergistic combination of nitrite and St. John's Wort oil offers a promising strategy to achieve healthier, clean-label, and more sustainable meat products, aligning with modern consumer expectations. Future studies should focus on optimizing concentration levels, evaluating sensory acceptance, and assessing microbiological safety to support industrial application. Additionally, encapsulation or emulsification of the oil could be explored to improve its stability and homogeneous distribution within the meat matrix.

By demonstrating the antioxidative, color-stabilizing, and physicochemical benefits of St. John's Wort oil in a traditional meat product, this study contributes valuable scientific and practical insights to the development of nitrite-reduced or nitrite-free formulations in the meat industry. It also supports the growing global trend toward

natural preservation systems, bridging traditional food technology with modern health-conscious innovation.