

BEZELYE KABUK PROTEİN KONSANTRATININ GIDA BİLEŞENİ OLARAK SUCUK ÜRETİMİNDE KULLANIMI

Semanur Yıldız^{1,2}, Oktay Yemiş^{*1,2}

¹ Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

² Sakarya Üniversitesi Araştırma ve Geliştirme Merkezi (SARGEM), Sakarya, Türkiye

Geliş/Received: 20.08.2023; Kabul /Accepted: 07.02.2024; Online baskı /Published online: 09.02.2024

Yıldız, S., Yemiş, O. (2024). Bezelye kabuk protein konsantratının gıda bileşeni olarak sucuk üretiminde kullanımı. GIDA (2024) 49 (1) 160-178 doi: 10.15237/ gida.GD23095

Yıldız, S., Yemiş, O. (2024). Utilization of pea pod protein concentrate as a food ingredient in fermented sausage production (sucuk). GIDA (2024) 49 (1) 160-178 doi: 10.15237/ gida.GD23095

ÖZ

Bu çalışmada, tarımsal bir yan ürün olan bezelye kabuklarından geleneksel alkali ekstraksiyon-izoelektrik noktada çöktürme tekniği ile %70 protein içeriğine sahip toz formda protein konsantratu (BKPK-N) üretilmiştir. Doğal haldeki bu protein konsantratu (BKPK-N) emülsiyon aktivitesini maksimize edilecek şekilde ultrases homojenizasyonu uygulanarak modifiye bezelye kabuk proteini konsantratına (BKPK-US) dönüştürülmüştür. Elde edilen hem doğal (BKPK-N) hem de modifiye protein konsantratları (BKPK-US) sucuğa %1 konsantrasyonlarında eklenerek, hem fermantasyon-kurutma (6 gün) hem de depolama (5 ay) sırasında lipit oksidasyonu üzerine etkileri incelenmiştir. Her üç uygulamada da hedeflenen pH değerine fermantasyonun 2. gününün sonunda ulaşılrken, hedeflenen nem (<%40) ve nem/protein (<2.5) değerlerine 6. günün sonunda erişilmiştir. Fermantasyon-kurutma sonunda, tüm sucuk örneklerinin (kontrol, BKPK-N ve BKPK-US) peroksit, TBARS ve karbonil değerlerinde istatistiksel olarak farklılık olmadığı tespit edilmiştir ($P > 0.05$). Fermantasyon-kurutma sonrası depolama başlangıcında gerçekleştirilen duyu analize, BKPK-N ve BKPK-US eklenmiş çiğ sucuk örnekleri kontrole yakın bir beğeni puanı alırken, pişmiş haldeki sucuk örneklerinde BKPK-US eklenmiş sucuklar daha fazla beğenilmiştir. Depolama sürecinde ise, ilk 1 ay içerisinde tüm sucuk örneklerinin peroksit değerlerinde artışlar saptanmıştır. Bu artış en fazla BKPK-US katılmış sucuk örneklerinde gerçekleşmiş, ancak 3. ayın sonunda tüm sucuk örneklerinde birincil oksidasyon ürünlerinin parçalanmıştır. Peroksit değerlerindeki bu azalışa karşın, TBARS değerlerinde paralel artışlar gözlenmemiştir. Depolama boyunca elde edilen karbonil sonuçları, eklenen protein konsantratlarının (BKPK-N ve BKPK-US) kontrol örneklerine kıyasla mevcut protein oksidasyonuna ek olarak kısmi artışlara neden olabileceği, ancak bu artışın istatistiksel olarak önemli olmadığını ortaya koymuştur. Genel anlamda, bezelye kabuk protein konsantratlarının sucuk üretiminde kullanımının hem 6 günlük fermantasyon-kurutma hem de 5 aylık depolama periyodu boyunca oksidatif stabilite üzerine herhangi bir katkısının olmadığı tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Bezelye kabuk proteini, sucuk, oksidatif stabilite, bitkisel protein, ultrases, protein modifikasyonu, gıda bileşeni

* Yazışmalardan sorumlu yazar/Corresponding Author

✉: oktayyemis@sakarya.edu.tr

☎: (+90) 264 295 3192

☎: (+90) 264 295 5601

Oktay Yemiş; ORCID no: 0000-0002-7461-5185

Semanur Yıldız; ORCID no: 0000-0002-1845-7813

UTILIZATION OF PEA POD PROTEIN CONCENTRATE AS A FOOD INGREDIENT IN FERMENTED SAUSAGE PRODUCTION (SUCUK)

ABSTRACT

In this study, pea pod protein concentrate (PPPC-N) with 70% protein content was produced from pea pods, which is an agricultural by-product, by conventional alkaline extraction-isoelectric point precipitation technique. This native protein concentrate (PPPC-N) was converted into modified pea pod protein concentrate (PPPC-US) by applying ultrasound homogenization to maximize emulsion activity. Both native (PPPC-N) and modified protein concentrates (PPPC-US) obtained were incorporated into fermented sausage (sucuk) at 1% concentrations, and their effects on lipid oxidation during both fermentation (6 days) and storage (5 months) were investigated. For all treatments, the targeted pH value was reached at the end of 2 days, whereas the critical ratio of water content/ protein content (<2.5) and water content (<40%) values were reached at the end of 6 days. At the end of the fermentation-drying process, it was determined that there was no statistical difference among sausage samples ($P > 0.05$). The sensory analysis revealed that the uncooked sausage samples with the addition of BKPK-N and BKPK-US had a high score compared to the control, while the cooked sausage samples with the addition of BKPK-US had the highest score. The increases were observed in the peroxide values of all sausage samples within the first month of storage. This increase was highest in sausage samples with BKPK-US added, but the primary oxidation products were degraded in all sausage samples at the end of the 3rd month. Despite this decrease in peroxide values, no parallel increases were observed in TBARS values. Carbonyl results obtained during storage revealed that PPPC-N and PPPC-US treatments could cause additional increases in protein oxidation present compared to control samples, but this increase was not statistically significant. In general, it was determined that the incorporation of PPPC-N and PPPC-US into sausage production did not contribute to oxidative stability during both the 6-day fermentation-drying and 5-month storage period.

Keywords: Pea pod protein, fermented sausage (sucuk), oxidative stability, plant protein, ultrasound, protein modification, food ingredient

GİRİŞ

Tarımsal ürünlerin işlenmesi ile açığa çıkan atık veya yan ürünler hem hidrofilik hem de lipofilik nitelikteki birçok gıda bileşenini bir karışım halinde aynı anda yapılarında barındırmaya devam eden kompleks biyolojik materyallerdir. Gıda maddelerinin ana bileşim unsurlarından olan ve insan beslenmesinde çok önemli rol oynayan proteinler, geniş aralıklarda molekül ağırlıklarına sahip makromoleküllerdir. Proteinlerin sahip oldukları özellikler zincir uzunlukları, dallanmaları, elastikiyetleri, hidrofobisiteri, sahip oldukları yükler, zincir üzerinde yer alan monomerlerin sayısı, tipi, sıralanışı ve bağlanma şekli ile ilişkilidir. Proteinler hem yüksek molekül ağırlıkları hem de yoğun bir şekilde hidrofilik grup (-OH ve -COOH) barındırmalarından dolayı birçok fonksiyonel özelliğe sahiptirler. Proteinler beslenme değerinin yanı sıra sahip oldukları emülsiyon, jel ve köpük oluşturma; su, yağ ve aroma bağlama; viskozite artırma gibi fonksiyonel

özellikleriyle hem gıda hem de ilaç endüstrisinde bileşen olarak yaygın bir biçimde kullanılmaktadırlar. Özellikle emülsiyon tipi işlenmiş gıdalarda tekstür ve emülsiyon stabilitesi çok kritik olup, proteinler bu özelliklerin ürüne kazandırılmasında önemli rollere sahiptir. Bu makromoleküllerin fiziksel, kimyasal veya enzimatik uygulamalara maruz kalması onların konformasyonunu, yüzey özelliklerini ve sahip oldukları fonksiyonel özelliklerini değiştirebilmekte (Foegeding ve Davis, 2011; Foegeding, 2015; Kumar vd., 2022) ve dolayısıyla son ürünün kalite özelliklerine yön verebilmektedir.

Dünya nüfusu ve beslenme alışkanlıklarındaki değişimler, protein kaynağı olarak özellikle yenilenebilir nitelikteki 'bitkisel proteinleri' gündeme getirmiştir. Bitkisel üretim veya işleme sırasında oluşan yan ürünlerden yağlı tohum küspeleri (ay çekirdeği, fındık, kolza vb. küspeler)

ve baklagil kabukları (bezelye kabukları) dikkate değer miktarda protein barındırmaktadır (İsmail vd., 2020). Bu nedenle bugün gelinen noktada, sürdürülebilir kaynaklardan yeni protein elde edilmesi veya mevcut proteinlerin kullanım amacına göre fonksiyonel özelliklerinin iyileştirilmesi çok büyük önem taşımaktadır. Bitkisel kaynaklardan elde edilen proteinlerin gıda endüstrisinde emülsiyonların hazırlanmasında gıda bileşeni olarak kullanımı her geçen gün artmaktadır. Artan dünya nüfusu, vejetaryenlik ve bitkisel proteinlere dayalı beslenme tercihleri, hayvansal proteinlere ve gıda katkı maddelerine karşı oluşan negatif algı, gıdaların fonksiyonel özelliklerinin geliştirme ihtiyacı sebebiyle gıda endüstrisi sürdürülebilir ve ucuz nitelikte yeni alternatif protein kaynaklarına yönelmiştir. Günümüzde gıda endüstrisi soya proteinlerini değerlendirerek birçok gıda maddesinin üretiminde bitkisel protein kaynağı olarak kullanmaktadır. Ancak protein içeren diğer tarımsal atık ve yan ürünler değerlendirilmemektedir. Nüfus, gelir, beslenme rejimi gibi değişen yaşam koşulları ve buna karşılık sahip olunan kaynaklar göz önünde bulundurulduğunda sürdürülebilir alternatif kaynaklardan düşük maliyetli bitkisel proteinlerin üretimine ya da mevcut kullanımda olan endüstriyel nitelikteki proteinlerin fonksiyonel özelliklerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır (Akhamure vd., 2020).

Proteinlerin içerdikleri aminoasitlerin yan zincirlerindeki fonksiyonel gruplardan kaynaklanan antioksidan aktiviteleri iyi bilinmektedir. Nitekim proteinlerin içerdiği tirozin, fenilalanin, triptofan gibi aromatik aminoasitlerin, sistein gibi sülfür içeren aminoasitlerin ve histidin gibi bazik aminoasitlerin yan zincirlerinde yer alan aktif grupların serbest radikallere proton verme yeteneklerinden kaynaklanan antioksidan aktiviteleri bulunmaktadır. Yine proteinlerin yapısında yer alan lizin, arginin ve histidin gibi bazik nitelikteki aminoasitlerle aspartat ve glutamat gibi asidik nitelikteki aminoasitler ise yan zincirleri metal iyonları ile çelat oluşturma özelliklerinden kaynaklanan bir antioksidan aktivite

göstermektedir (Rajapakse vd., 2005; Hu vd., 2003; Arcan ve Yemenicioğlu, 2007).

Sucuk, ülkemizde işlenmiş kırmızı et ürünleri içerisinde en fazla talep gören ve tüketilen gıda maddesidir. Sucuk üretimi temelde fermantasyon ve kurutma (olgunlaştırma) işlemine dayalı ısıl işlemin uygulanmadığı bir prosestir (Kaban, 2013). Ancak son yıllarda, klasik fermantasyon-kurutmaya dayalı olan ısıl işlem görmemiş sucuk üretim tekniği, uzun sürmesi ve başlangıç et kalitesinin mikrobiyolojik açıdan düşük olmasına bağlı olarak üründe mikrobiyolojik bozulmaların görülebilmesi sebebiyle daha az tercih edilen bir üretim yöntemi haline gelmiştir. Buna karşın et endüstrisi günümüzde çoğunlukla 8–12 saatlik bir fermantasyon sonrasında sucukların merkez sıcaklığının 72–74°C'ye kadar ısıtıldığı ve belli bir süre bu sıcaklıkta tutulduğu ısıl işlemi tercih etmektedir. Böylece, çok daha kısa sürede ve kayıpsız olarak sucuk üretimi yapılabilmektedir (Ercoskun, 2006). Fermente et ürünlerinde görülen oksidasyon reaksiyonları, oksidasyonun derecesine bağlı olarak ılımlı bir oksidasyon gerçekleştiğinde ilgili ürünün tipik aroma bileşiklerinin oluşumundan sorumludur (Toldra, 1998; Pateiro vd., 2015). Ancak, bu oksidasyon reaksiyonları ileri bir seviyede gerçekleşme durumunda ise ürünün rengine, tekstürüne, besinsel değerine, istenmeyen ransit tat ve aroma bileşiklerinin oluşumu ile lezzetine etki ederek ciddi kalite kayıplarına neden olabilir (Gray vd., 1996; Domínguez vd., 2019).

Tarımsal bir yan ürün olan bezelye kabuğunun değerlendirilerek bitkisel protein üretimi için kullanılmasına yönelik olarak yapılan güncel bir çalışmada farklı ekstraksiyon teknikleri uygulanmış ve protein konsantratu üretilme potansiyeli ele alınmıştır (Karabulut vd., 2023). Bu çalışmanın amacı ise, bezelye kabuklarından elde edilen bitkisel protein konsantratlarının hem doğal hem de ultrases prosesiyle fonksiyonel özellikler açısından modifiye edilmiş formlarının sucuğa eklenerek fermantasyon-kurutma ve depolama süreçlerinde fermente et ürünlerinde en sık görülen ve kalite kaybına neden olan oksidatif acılaşma reaksiyonlarına karşı önleyici bir katkısının olup olmayacağına irdelenmesidir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal

Araştırmada materyal olarak kullanılan bezelye kabukları, Sakarya ili semt pazarından satın alınan Araka çeşidi bezelyelerden elle ayıklanarak elde edilmiştir. Sucuk üretiminde kullanılan et karkasın döş kısmından, yağ ise kabuk yağı olarak yerel bir kasaptan temin edilmiştir. Kullanılan baharatlar (kırmızı toz biber, karabiber, kimyon ve sarımsak tozu) Bağdat Baharat A.Ş. (Ankara) firmasından satın alınmıştır. Starter kültür olarak, İnnovatif Biyoteknoloji (İstanbul) firmasından hibe edilen *Latilactobacillus sakei* ve *Staphylococcus carnosus* mikroorganizmalarından oluşan karışım kullanılmıştır.

Protein konsantratu üretimi

Geleneksel alkali ekstraksiyon / izoelektrik çöktürme
Elle ayıklanarak elde edilen bezelye kabukları, 45°C'de fanlı (1.5 m/s) bir kurutma sisteminde (Eksis, Türkiye) nem içeriği %10'un altına düşüncüye kadar 4 saat süreyle kurutulmuştur. Kurutulan bezelye kabukları (5 kg) laboratuvar tipi bir bitki değirmeni (Lavion, HC-500Y) yardımı ile 26000 rpm hızda 1 dakika süre ile öğütülmüştür. Öğütme sırasında sıcaklığın 50°C seviyesini aşmamasına dikkat edilmiştir. Elde edilen toz materyal 850 µm gözenek boyutuna sahip bir elek yardımı ile elenerek homojen bir kitle haline getirilmiştir. Toz haline getirilen bezelye kabuklarının öncelikle yapısında yer alan klorofil ve mumsu yapıdaki lipit türevleri gibi safsızlık unsurları aseton ile muamele edilerek uzaklaştırılmıştır. Bu amaçla toz materyal soğuk aseton ile 1:2 (katı:sıvı) oranında karıştırılarak bir manyetik karıştırıcı yardımı ile 600 rpm'de 3 dakika süre ile muamele edilmiştir. Bu sürenin sonunda elde edilen kitle Buchner hunisi yardımı ile Whatman 1 nolu filtreden vakum altında filtre edilmiştir. Filtre üzerindeki kalıntıya bu işlem 1:1 oranında olacak şekilde 2 kez daha tekrarlanmıştır. Bu işlemler sonunda elde edilen kalıntı 1 gece oda sıcaklığında bırakılarak tüm aseton uzaklaştırılmıştır. Böylece safsızlık unsurları elemine edilmiş "yağsız bezelye kabuk tozu" elde edilmiştir.

Yağsız kabuk tozu katı:sıvı oranı 1:20 olacak şekilde bir cam behere tartılmış ve üzerine saf su ilave edilmiştir. Bu süspansiyon 1 gece oda

sıcaklığında 500 rpm'de manyetik karıştırıcı kullanılarak rehidrasyona bırakılmıştır. Rehidrasyona tabi tutulan örnekler yüksek devirli bir homojenizatör (ULTRA-TURRAX® T25, IKA, Almanya) yardımı ile 20.000 rpm'de 2 dakika homojenize edilmiştir. Elde edilen homojen süspansiyonun pH'sı 2 N NaOH ile 10'a ayarlanmış ve 30 dakika boyunca bu sabit pH altında manyetik karıştırıcı yardımıyla 750 rpm'de alkali ortamda proteinler ekstrakte edilmiştir. Alkali süspansiyon 10.000 rpm'de +4°C'de 20 dakika süreyle santrifüjlenerek (Beckman Coulter Inc., Allegra 64R, Indianapolis, IN, ABD) elde edilen supernatantlar Whatman 1 no'lu filtreden filtre edilerek berrak ekstrakt-1 elde edilmiştir. 1. Ekstraksiyon sonunda santrifüj sonrası kalan kalıntıya bu sefer 1:15 oranında distile su ilave edilmiş ve yine pH 10'da 30 dakika ekstraksiyon işlemi yapılmıştır. Bu 2. ekstraksiyon aynı koşullarda santrifüjlenerek süpernatant filtre edilmiştir (ekstrakt-2). Filtre edilmiş berrak ekstrakt-1 ve ekstrakt-2 birleştirilmiş, 2 N HCl ile ekstraktların pH'sı 10'dan izoelektrik nokta olan 3.55'e getirilmiş ve akabinde 15.500 rpm'de +4°C'de 20 dakika süreyle santrifüjlenerek protein peletleri elde edilmiştir. Elde edilen peletlerin protein içeriğinin ancak %50 seviyesinde olduğu tespit edilmiştir. Peletlerdeki safsızlık unsurlarını uzaklaştırıp protein içeriğini artırmak için peletlere yıkama işlemi uygulanmıştır. Bu amaçla elde edilen peletler su içerisinde (pH 10) tamamen çözündürüldükten sonra, bu alkali protein çözeltisinin pH'sı tekrar izoelektrik noktaya (3.55) getirilerek proteinler bir kez daha çöktürülmüştür. Yıkama işlemi ile safsızlıkları kısmen giderilmiş protein peletleri 0.01 N NaOH ile pH 7.0'ye getirilmiş ve dondurarak kurutulduktan (Labconco, Freezone, Kansas, ABD) sonra toz haline getirilmiştir. Elde edilen toz ürün Kjeldahl protein tayini yöntemine göre analiz edilerek protein içeriği %70 olarak belirlenmiştir. Doğal formdaki bezelye kabuk protein konsantratu (BKPK-N) olarak adlandırılan bu gıda bileşenin antioksidan aktivitesi DPPH yöntemi ile $12.1 \pm 0.1 \mu\text{M}$ Trolox/g olarak saptanmıştır.

Ultrases homojenizasyonu ile protein modifikasyonu

Üretilen BKPK ile %1 konsantrasyonda sulu protein dispersiyonu hazırlanmış ve 25°C

sıcaklıkta 30 dk süreyle rehidrasyona bırakılmıştır. Süre sonunda protein dispersiyonu su sirkülatörü (Scientz, DC2006, Ningbo, Çin) bağlanmış olan çift cidarlı örnek kabına aktarılmış ve 1.3 cm çaplı probu olan ultrasones homojenizasyon sistemi (Sonics, VCX750, Newtown, ABD) kullanılarak proteinler modifikasyon işlemine tabi tutulmuştur. Su sirkülatörü 20°C sıcaklığa ayarlanmış olup ultrasonikasyon sırasında sıcaklık kontrolünün yapılması hedeflenmiştir. Ultrasones homojenizasyonu daha önceden yapılmış olan optimizasyon çalışmaları esas alınarak BKPK'nın emülsiyon oluşturma aktivitesini maksimize edecek koşullar altında (%80 genlik, 11 dakika, %1 protein konsantrasyonu) uygulanmıştır. Ultrasones homojenizasyonu sonrasında protein dispersiyonları -25°C'de dondurulmuş ve daha sonra bir liyofilizatör (Labconco, Freezone, Kansas, ABD) yardımı ile dondurularak kurutulmuştur. Toz formda elde edilen ürün ultrasones ile modifiye edilmiş bezelye kabuk protein konsantratu (BKPK-US) olarak adlandırılmış ve antioksidan aktivitesi DPPH yöntemi ile 14.2 ± 0.4 µM Trolox/g olarak saptanmıştır.

Sucuk üretimi

Sucuk üretiminde kontrol (K, protein konsantratu eklenmemiş), %1 oranında ultrasones uygulanmamış bezelye kabuk protein konsantratu (BKPK-N) ve %1 oranında ultrasones uygulanmış bezelye kabuk protein konsantratu (BKPK-US) olmak üzere üç farklı uygulama yapılmıştır. Sucuk hamuru hazırlanmasında Çizelge 1'de verilen bileşenler

kullanılmıştır. Et ve yağ kıyma makinasından çekildikten sonra ilgili bileşenler eklenerek sucuk hamuru yoğrulmuş ve 12 saat süre ile +4°C'de bekletilmiştir. Bu süre sonunda, %0.2 oranında *Lactobacillus sakei* ve *Staphylococcus carnosus* mikroorganizmalarından oluşan kokteyl starter (İnnovatif Biyoteknoloji, İstanbul) eklenerek tekrar yoğrulmuştur. Starteri eklenmiş sucuk hamuru, sığır bağırsağından üretilmiş doğal kılıflara (40 mm çap) hava boşluğu kalmayacak şekilde yaklaşık 150 g dolum gerçekleştirilmiştir. Doğal kılıflar dolum öncesinde %5'lik laktik asit çözeltisinde bekletilerek kullanıma hazır hale getirilmiştir. Doldurulmuş sucuk örnekleri 6 gün süre ile sabit 20°C sıcaklık altında 1. gün %90–95, 2. gün %85–95, 3. gün %80–85, 4. gün %75–80, 5. gün %70–75 ve 6. gün %65–70 nem koşullarında fermantasyon-kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Bu amaçla, sabit hava sirkülasyon hızına sahip 250 litrelik bir soğutmalı inkübatör (Daihan Scientific, IR-250, Kore) ile ortam nemini istenen düzeye getirip burada sabit tutabilecek bir otomatik buhar makinası (Weewell WHC740, Almanya) kullanılmıştır. Fermantasyon-kurutma boyunca sucuk örneklerinde her gün hem pH hem de nem içeriği takip edilmiş, üretimin başında ve sonunda oksidasyon testleri (peroksit, TBARS ve karbonil sayısı) gerçekleştirilmiştir. Fermantasyon-kurutma işlemi tamamlanan sucuk örnekleri polietilen poşetlere konularak +5°C'de 5 ay boyunca depolanmış ve her ay oksidasyon testleri yapılmıştır.

Çizelge 1. Sucuk üretiminde kullanılan bileşenler ve miktarları

Table 1. *Ingredients used in fermented sausage production (sucuk)*

Bileşenler <i>Ingredients</i>	Miktarı (g) <i>Amount (g)</i>
Yağsız et (<i>Ground lean beef</i>)	800
Kabuk yağı (<i>Tallow fat</i>)	200
Tuz (<i>Salt</i>)	20
Sakkaroz (<i>Sucrose</i>)	2
Sarımsak tozu (<i>Garlic powder</i>)	4
Kırmızı toz biber (<i>Red pepper powder</i>)	7
Karabiber (<i>Black pepper powder</i>)	5
Kimyon (<i>Cumin</i>)	9
Sodyum nitrit (<i>Sodium nitrite</i>)	0.15
Starter (<i>Starter culture</i>)	0.2
Bezelye kabuğu protein konsantratu (BKPK) <i>Pea pod protein concentrate (PPPC)</i>	1

Oksidatif stabilitenin belirlenmesi

Peroksit sayısı

Bu analiz sucuk örneklerinde birincil oksidasyon ürünlerini (hidroperoksitler) belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla ilk önce yağ ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir. 10 g sucuk örneği 100 mL metanol:kloroform (1:2) ile waring blender yardımı ile 2 dakika süreyle orta hızda homojenize edilmiştir. Elde edilen homojenat direkt olarak kaba filtre yardımı ile bir ayırma hunisine süzülmiştir. Süzüntünün üzerine 20 mL CaCl₂ (%0.4) eklenerek karıştırılmış ve 2 saat süre yağ fazının ayrılması için bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda alttaki yağ fazı direkt olarak rotary balonuna aktarılmış ve bir rotary evaporatör (Buchi R114, İsviçre) yardımı ile çözücü uzaklaştırılarak yağ elde edilmiştir. Elde edilen yağdan 1-2 g arasında bir örnek erlen-mayere tartılmış ve üzerine 30 mL asetik asit:kloroform (3:2) çözeltisi eklenerek çözündürülmüştür. 1 mL doymuş potasyum iyodür (KI) çözeltisi eklenerek 5 dakika karanlıkta bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda, 100 mL distile su ve 1 mL nişasta çözeltisi eklenerek karıştırılmış ve 0.01 N sodyum-tiyo sülfat (Na₂SO₃) çözeltisi ile titre edilmiştir. Sonuçlar aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmış ve meq O₂/kg yağ üzerinde verilmiştir (AOAC, 1995).

$$\text{Peroksit sayısı} = [(S - B) \times N \times 1000] / W$$

(Eşitlik-1)

S: Titrasyonda harcanan tiyosülfat (mL)

B: Kör için harcanan tiyosülfat (mL)

N: Tiyosülfat çözeltisinin normalitesi (mL)

W: Örnek Ağırlığı (kg)

Tiyobarbitürikasit (TBARS) sayısı

10 g sucuk örneği 50 mL %7.5'lük TCA (Trikloroasetik asit) çözeltisi içerisinde bir waring blender yardımı ile orta hızda 2 dakika süreyle homojenize edilmiştir. Elde edilen homojenat Whatman No:4 filtre yardımı ile süzülüdür. Berrak süzüntünden 5 mL bir test tüpüne aktarılmış ve üzerine 5 mL 0.02 M TBA (Tiyobarbitürik asit) çözeltisi eklenmiştir. Bu karışım 100°C'de 35 dakika ısı işlem uygulandıktan sonra, karışım hızla soğutulup 532 nm'de spektrofotometre (UVmini-1240, Shimadzu, Japonya) yardımı ile absorbans değeri belirlenmiştir. Sonuçlar TEP (1,1,3,3-

tetraethoxypropane) ayırıcı kullanılarak oluşturulan kurve yardımı ile mg malonaldehit (MA)/kg sucuk olarak ifade edilmiştir (Mielnik vd., 2006).

Karbonil sayısı

Bu analiz protein oksidasyon düzeyini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Lipid oksidasyonun son basamaktaki ürünleri ile bazı aminoasitler arasındaki etkileşim sonucu protein oksidasyonu gerçekleşmekte ve pek çok karbonil türevi oluşmaktadır. Bu amaçla Oliver vd. (1987) tarafından önerilen 2,4-DNPH indikatörünün kullanıldığı spektrofotometrik yöntem modifiye edilerek kullanılmıştır. Bu analiz yönteminde, 5 g sucuk örneği 50 mL KCl (0.15 M) çözeltisi ile waring blender yardımı ile 2 dakika orta hızda homojenize edilmiştir. Bu homojenattan P (protein analizi için) ve C (karbonil analizi için) tüpü olarak kodlanmış test tüplerine 300 µL aktarılmış ve bu tüplere 3 mL %10'luk TCA (Trikloroasetik asit) çözeltisi eklenmiştir. Tüpler +4°C'de 5000 rpm'de 5 dakika süre bir santrifüj (Hettich 320 R, Almanya) yardımı ile santrifüjlenmiştir.

Supernatantlar uzaklaştırıldıktan sonra, protein konsantrasyonunu belirlemek amacıyla P tüpündeki kalıntı üzerine 3 mL 2 N HCl eklenmiştir. Karbonil miktarını belirlemek için ise, C tüpündeki kalıntı üzerine ise 3 mL 2 N HCl içerisinde hazırlanmış %0.2'lik DNPH (2,4-dinitrofenilhidrazin) çözeltisi eklenmiştir. Tüpler oda sıcaklığında 1 saat süre ile inkübe edilmiş, daha sonra her iki tüpe de 3 mL %10'luk TCA çözeltisi eklenmiştir. Tüpler karıştırılıp +4°C'de 9000 rpm'de 5 dakika süre santrifüjlenip supernatantlar uzaklaştırılmıştır. Elde edilen peletlerdeki DNPH'ın fazlasının uzaklaştırılması amacıyla 3 mL etanol:etil asetat (1:1) karışımı eklenmiş ve +4°C'de 9000 rpm'de 2 dakika süre santrifüjlenmiştir. Supernatant atıldıktan sonra pelet bu şekilde iki kez daha aynı solvent karışımı ile yıkanmıştır. Daha sonra peletler azot gazı altında kurutulmuş ve üzerlerine 3 mL guanidin-HCl (6 M) çözeltisi eklenerek çözündürülmüştür. Tüp içerikleri, +4°C'de 9000 rpm'de 5 dakika süre santrifüjlenip elde edilen berrak çözeltiler protein analizi için 280 nm'de ve karbonil analizi için ise 370 nm'de spektrofotometrede okunmuştur.

Protein konsantrasyonunu belirlemek için standart BSA (Bovine Serum Albumine) proteininden oluşturulmuş kalibrasyon kurvesi kullanılmıştır. Hesaplama ekstinksiyon katsayısı (E_c) $22000 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ değeri kullanılmış ve sonuçlar nmol/mg protein üzerinden ifade edilmiştir.

Duyusal değerlendirme

Duyusal değerlendirme, fermantasyon-kurutma işlemini tamamlamış üç grup sucuk örneğinde (Kontrol, BKPK-N ve BKPK-US) Gıda Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden oluşan 10 kişilik yarı eğitilmiş bir panelist grubu ile gerçekleştirilmiştir. Sucuk örnekleri çiğ olarak koku, renk, görünüş ve genel beğeni yönünden değerlendirmeye tabi tutulurken, pişmiş sucuk örnekleri ise koku, renk, tat, tekstür ve genel beğeni yönünden değerlendirilmiştir. Duyusal değerlendirmede 1–9 puanlı bir hedonik skala kullanılmış, 9 puan söz konusu özelliğin en iyi algılandığı 1 ise özelliğin hiç algılanmadığı puan olarak değerlendirilmiştir.

İstatistiksel değerlendirme

Bu çalışmada 3 farklı sucuk üretimi (Kontrol, BKPK-N ve BKPK-US) aynı şartlar altında 2 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Analizler fermantasyon-kurutma sırasında 7 farklı sürede (0., 1., 2., 3., 4., 5. ve 6. gün) ve sucukların depolanması aşamasında ise 5 farklı sürede (1., 2., 3., 4., ve 5. ay) ve 2 paralel olarak yapılmıştır. Kullanılan tam şansa bağlı faktöriyel deneme deseni $3 \times (7+5) \times 2 \times 2$ şeklindedir. Söz konusu sucuğa eklenen proteinin türü (BKPK-N ve BKPK-US) ve süre bağımsız değişken iken, ölçülen pH, nem, peroksit, TBARS ve karbonil değerleri ile duysal özellikler bağımlı değişkenlerdir. Araştırma kapsamında elde edilen sonuçların istatistiksel değerlendirilmesi SPSS (ver.20.0, SPSS Inc., Chicago IL) istatistik paket programı kullanılarak varyans analiz tekniği (ANOVA) ile yapılmış ve farklılık görülen gruplarda farklılığın hangi düzeyde olduğu LSD (Asgari Önemli Fark) testi uygulanarak ($P < 0.05$) belirlenmiştir. Çiğ ve pişmiş sucuğun duysal özellikleri için varyans analizi Minitab 16 (Minitab Inc., State College, PA) programı kullanılarak yapılmış ve örnekler arasındaki farklılık %95 güven aralığında belirlenmiştir

($P < 0.05$). Sucuk türlerinin kimyasal (karbonil içeriği, TBARS değeri ve peroksit değeri) özellikleri ve duysal özellikleri arasındaki korelasyon gücü Pearson korelasyonu uygulanarak belirlenmiştir ($P < 0.05$) (<https://hiplot.cn/basic/cor-heatmap>).

BULGULAR ve TARTIŞMA

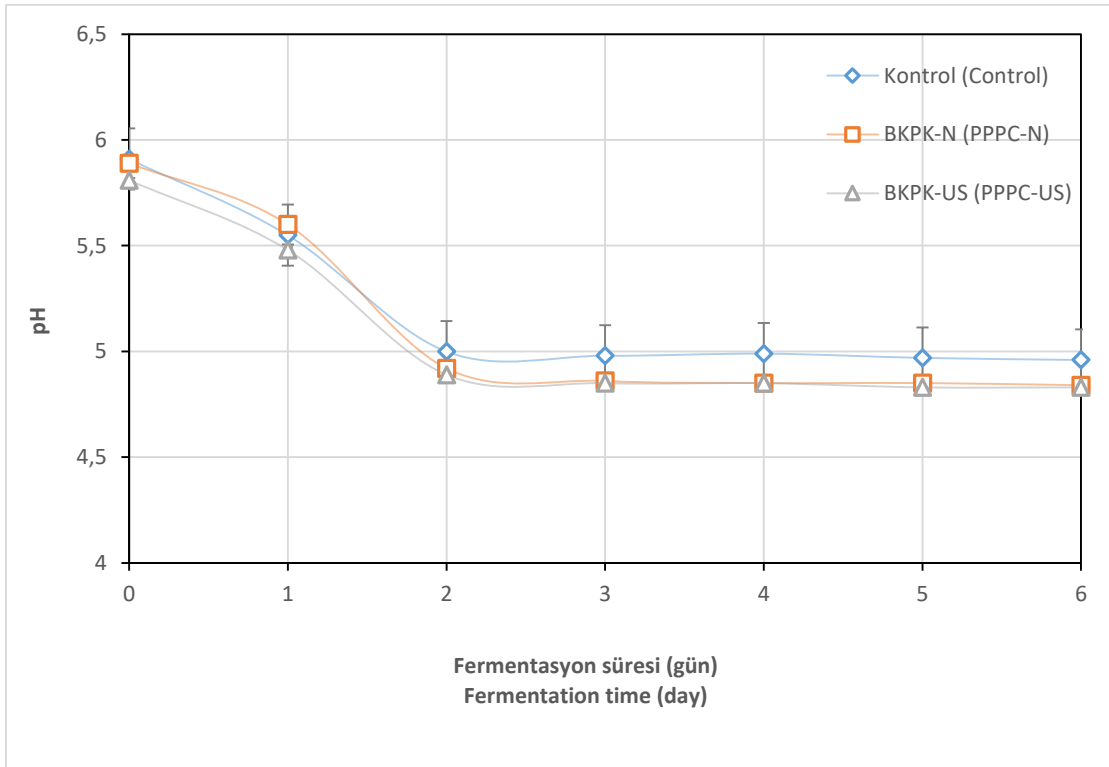
Fermantasyon-kurutma sırasında meydana gelen değişimler

Şekil 1'den de görüleceği üzere, her üç uygulamada da sucuk standardında (TSE, 2012) yer alan pH aralığına (4.7–5.4) 2. günün sonunda ulaşılmıştır. Fermantasyon-kurutma sonunda (6. gün), kontrol örneğinde pH değeri 4.96 ($P < 0.05$) olarak saptanırken, BKPK-N ve BKPK-US örneklerinde 4.84 ve 4.83 ($P > 0.05$) olarak tespit edilmiştir. Genel anlamda, uygulamalar arasında farklılıklar olmadığı ve 2. günden sonra günler arasında değişimlerin istatistiksel olarak önemli olmadığı ($P > 0.05$) görülmüştür. Erçoşkun (2006) yaptığı çalışmada, fermantasyon-kurutma prosesinin başında 5.88 olan pH değerinin, fermantasyon-kurutmanın 5. gününde 4.85 değerine düştüğünü rapor etmiştir. 2–3 günlük bir fermantasyon işlemi ile hedeflenen kritik pH değerine ulaşıldığını tespit etmişlerdir. Benzer şekilde Kurt (2009), farklı karbonhidrat kaynakları (sakkaroz, glukoz ve elma suyu konsantresi) kullanarak ürettikleri sucuklarda, başlangıçta yaklaşık 5.90 olan pH değerinin fermantasyonun 3. gününde 4.7–4.8 aralığına kadar düştüğünü saptamıştır. Çoşkun vd. (2010), geleneksel metot ile ürettikleri sucuklarda 7 günlük fermantasyon-kurutma sonunda pH değerinin 4.63 değerine kadar düştüğünü belirlemişlerdir.

Fermantasyon-kurutma boyunca sucukların nem içeriğindeki değişim Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'den de anlaşılacağı üzere, fermantasyon-kurutmanın ilk 2 günü boyunca ciddi nem değişiminin gözlenmediği, 2. günden sonra asıl kurumanın gerçekleştiği saptanmıştır. Bu durum, fermantasyon-kurutmanın ilk 2 günü boyunca ortam neminin oldukça yüksek olması (1. gün %90-95, 2. gün %85-95) ile ilişkilendirilmiştir. Fermantasyon-kurutma başlangıcında kontrol örneklerinde 64.36 ± 0.29 olan nem içeriği 2. günün sonunda 61.74 ± 0.58 değerine ve

fermantasyon-kurutma sonunda (6. gün) ise hedeflenen değer olan 40 ± 1.00 değerine ulaşmıştır. BKPK-N ve BKPK-US örneklerinde başlangıçta nem içeriklerinin 60.05 ± 0.70 ve 60.69 ± 0.60 olduğu saptanmıştır. Kontrol örneklerine kıyasla, protein konsantratu eklenen örneklerdeki nem içeriğinin daha düşük olması, eklenen protein konsantratının ortamın suyunu bağladığını göstermektedir. Protein konsantratu katılan örneklerin nem içeriklerinde, kontrol örneğinde olduğu gibi 2 gün boyunca ciddi değişimler gözlenmemiştir. Ancak 2. günden sonra ortam neminin azalmasına paralel olarak, kuruma başlamış ve fermentasyon-kurutmanın

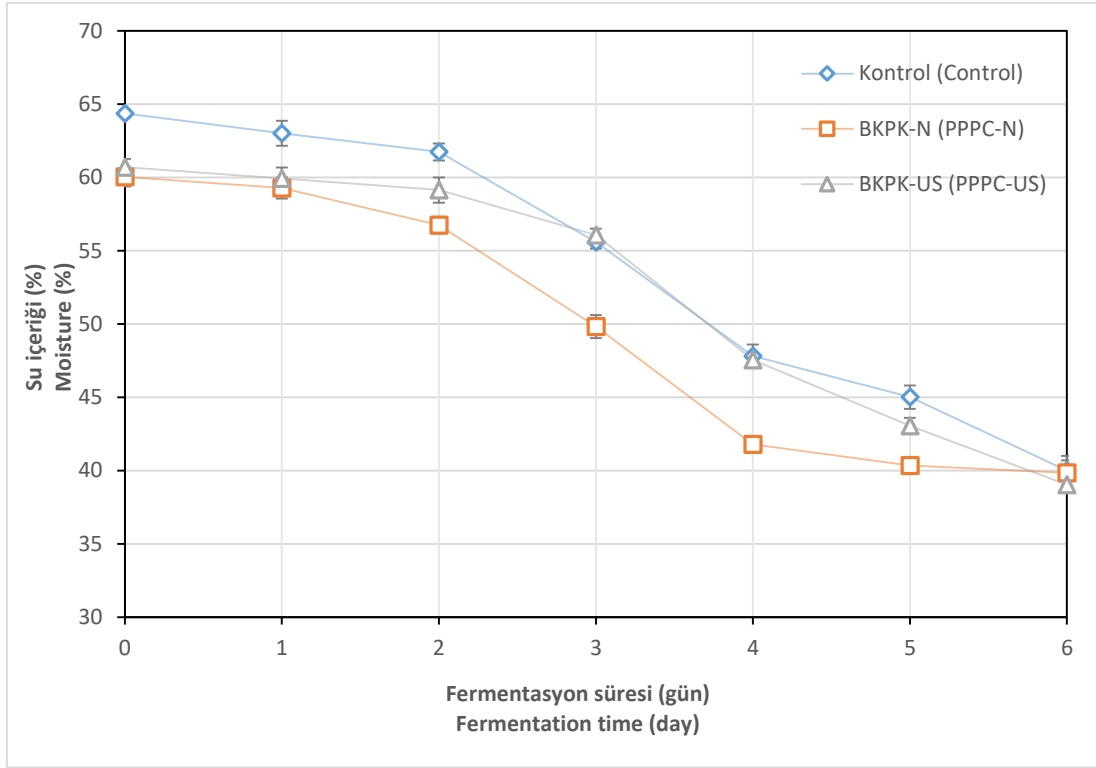
sonu olan 6. günde %39 değerine düşmüştür. Tüm uygulama gruplarında ulaşılan değerlerler arasında istatistiksel olarak fark olmadığı ($P > 0.05$) tespit edilmiştir. Tüm sucuk örneklerinde hedeflenen nem içeriği olan %40 değerine 6. günün sonunda ulaşılmış ve fermentasyon-kurutma işlemine burada son verilmiştir. Bu sürenin sonunda kontrol, BKPK-N ve BKPK-US örneklerinde nem/protein oranları sırasıyla 2.27, 1.91 ve 1.91 olarak tespit edilmiş, Et ve Et Ürünleri Tebliği'ne (Tebliğ No: 2018/52) (Anonim, 2019) uygun nem/protein oranına (< 2.5) ulaşılan sucukların üretimi sağlanmıştır.



Şekil 1. Sucuk örneklerinde fermentasyon-kurutma boyunca pH gelişimi

Kontrol: Bitkisel protein ilave edilmemiş sucuk, BKPK-N: Doğal formda bezelye kabuk proteini ilave edilmiş sucuk, BKPK-US: Ultrases ile modifiye edilmiş bezelye kabuk protein konsantratu ilave edilmiş sucuk

Figure 1. Change of pH in the fermented sausage (sucuk) samples during fermentation-drying
Control: The fermented sausage without pea pod protein concentrate (PPPC), PPC-N: The fermented sausage with native pea pod protein concentrate, PPC-US: The fermented sausage with ultrasound-modified PPC.



Şekil 2. Sucuk örneklerinde fermantasyon-kurutma boyunca su içeriğindeki değişim
Kontrol: Bitkisel protein ilave edilmemiş sucuk, BKPK-N: Doğal formda bezelye kabuk proteinini ilave edilmiş sucuk, BKPK-US: Ultrases ile modifiye edilmiş bezelye kabuk protein konsantratu ilave edilmiş sucuk

Figure 2. Change of moisture in the fermented sausage (sucuk) samples during fermentation-drying
Control: The fermented sausage without pea pod protein concentrate (PPPC), PPPC-N: The fermented sausage with native pea pod protein concentrate, PPPC-US: The fermented sausage with ultrasound-modified PPPC.

Fermentasyon-kurutma işleminin başında ve 6 günün sonunda sucuk örneklerinin peroksit, TBARS ve karbonil sayısı değerleri Çizelge 2’de verilmiştir. Protein konsantratu eklenmeyen kontrol örneklerinin peroksit değerleri 4.11 ± 0.24 meq O_2/kg yağ’dan 11.38 ± 0.11 meq O_2/kg yağ’a ulaşmıştır. Diğer bir deyişle kontrol örneklerinde 6 günlük fermantasyon-kurutma işlemi sonunda peroksit değerinde yaklaşık 3 katlık bir artış gözlenmiştir. Köseoğlu (2014), çeşitli et ürünlerinin (sucuk, salam, kavurma, pastırma) üretim aşamalarının yağ oksidasyonu ve yağ asidi bileşimi üzerine etkilerini belirlemek için yaptıkları çalışmada, sucuk hamurunda 0.55 meq O_2/kg yağ olarak saptadıkları peroksit değerinin fermantasyon-kurutmanın 6. gününde 7.81 meq O_2/kg yağ değerine ulaştığını tespit etmişlerdir. Çalışmamızda elde ettiğimiz değerler, bu çalışma

ile kıyaslandığında hem başlangıç seviyesi hem de 6. gün değerlerinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Peroksit değerlerinde saptanan bu farklılık, sucuk hamurunda yer alan yağ miktarı, yağın başlangıç peroksit değeri ve fermantasyon koşullarındaki farklılıklar (sıcaklık, nem ve starter) ile ilişkilendirilebilir.

Hem doğal (BKPK-N) hem de ultrases uygulanarak modifiye edilmiş protein konsantratu (BKPK-US) eklenmiş sucuklarda başlangıç peroksit değerleri sırasıyla 8.19 ± 1.65 meq O_2/kg yağ ve 9.12 ± 0.92 meq O_2/kg yağ saptanmıştır. Kontrol örneğinin başlangıç peroksit değeri (4.11 meq O_2/kg yağ) ile kıyaslandığında, hem doğal hem de ultrases uygulanmış formdaki konsantratların lipit oksidasyonunu arttırdığı tespit edilmiştir. Ancak kontrol örneğine kıyasla

başlangıçta gözlenen bu artış, fermantasyon süresince gözlenmemiştir. Hem BKPK-N hem de BKPK-US katılmış sucuk örneklerinde peroksit değerinde fermantasyon boyunca meydana gelen değişim istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır

($P > 0.05$). Bu bağlamda, kontrol örnekleri ile kıyaslandığında hem BKPK-N hem de BKPK-US ilave edilmiş sucuk örneklerinde fermantasyon boyunca peroksit değerinin artmasını önlediği ve kısmi bir stabilizasyon sağladığı söylenebilir.

Çizelge 2. Fermantasyon-kurutma işleminin sucuk örneklerinin peroksit, TBARS ve karbonil sayısı üzerine etkisi

Table 2. Effect of fermentation-drying process on peroxide, TBARS and carbonyl value of the fermented sausage (sucuk) samples

	Peroksit değeri (meq O ₂ /kg yağ) <i>Peroxide value</i> (meq O ₂ /kg fat)		TBARS değeri (mg MA/kg sucuk) <i>TBARS value</i> (mg MA/kg sucuk)		Karbonil sayısı (nmol/mg protein) <i>Carbonyl content (nmol/mg protein)</i>	
	FÖ (BF)	FS (AF)	FÖ (BF)	FS (AF)	FÖ (BF)	FS (AF)
Kontrol (Control)	4.11±0.24 ^{bb}	11.38±0.11 ^{aA}	1.33±0.05 ^{ba}	2.64±0.56 ^{aA}	1.24±0.56 ^{aA}	2.61±0.47 ^{aA}
BKPK-N (PPPC-N)	8.19±1.65 ^{aA}	8.15±0.32 ^{ba}	1.23±0.04 ^{ba}	2.24±0.13 ^{aA}	2.32±0.24 ^{aA}	4.37±0.88 ^{aA}
BKPK-US (PPPC-US)	9.12±0.92 ^{aA}	9.97±1.18 ^{aA}	1.62±0.02 ^{aB}	3.10±0.12 ^{aA}	3.86±1.48 ^{aA}	4.29±0.09 ^{aA}

FÖ: Fermantasyon-kurutma öncesi, FS: Fermantasyon-kurutma sonrası, BF: Before fermentation-drying, AF: After fermentation-drying

a-b: Aynı sütun içerisindeki farklı harfler gruplar arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir ($P < 0.05$)

A-B: Aynı satır içerisindeki farklı harfler fermantasyon-kurutma öncesi ve sonrası arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir ($P < 0.05$)

Her bir analiz kendi içinde istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Kontrol: Bitkisel protein ilave edilmemiş sucuk, BKPK-N: Doğal formda bezelye kabuk proteini ilave edilmiş sucuk, BKPK-US: Ultrases ile modifiye edilmiş bezelye kabuk protein konsantratı ilave edilmiş sucuk

a-b: The different letters given in the column indicate a statistically significant difference among groups ($P < 0.05$)

A-B: The different letters given in the row indicate a statistically significant difference between before and after fermentation-drying ($P < 0.05$)

Each analysis was statistically evaluated within itself.

Control: The fermented sausage without pea pod protein concentrate (PPPC), PPPC-N: The fermented sausage with native pea pod protein concentrate, PPPC-US: The fermented sausage with ultrasound-modified PPPC

Protein konsantratı eklenmeyen kontrol örneklerinde, 6 günlük fermantasyon-kurutma sırasında TBARS değeri 1.33±0.05 mg MA/kg'dan 2.64±0.56 mg MA/kg düzeyine çıkmıştır. Köseoğlu (2014), sucuk hamurunda 0.18 mg MA/kg düzeyinde saptadığı TBARS değerinin 6 günlük fermantasyon sonunda 0.60 mg MA/kg düzeyine yükseldiğini saptamıştır. Yine benzer şekilde, Toptancı ve Erçoşkun (2017) sucuk hamurunda TBARS değerini 0.40 mg MA/kg düzeyinde belirlemişlerdir. Ayrıca fermente sosislerde, fermantasyon sırasında TBARS değerlerinde artış gözlemlendiği birçok

bilimsel çalışmada rapor edilmiştir (Liaros vd., 2009; Olivares vd., 2011, Soyer ve Ertaş, 2007; Lorenzo vd., 2012). Literatürdeki bu değerler ile kıyaslandığında, elde ettiğimiz değerlerin yüksek olduğu görülmüştür. Bu farklılık, yağ miktarı, kullanılan ekstraksiyon yöntemlerindeki ve fermantasyon koşullarındaki (süre, bağıl nem ve starter kültür) farklılıklar ile ilişkilendirilebilir. Doğal (BKPK-N) ve ultrases uygulanmış protein konsantratı (BKPK-US) eklenmiş sucuk örneklerinde ise TBARS değerleri sırasıyla, 1.23±0.04 mg MA/kg'dan 2.24±0.13 mg MA/kg'a ve 1.61±0.02 mg MA/kg'dan 3.1±0.12

mg MA/kg değerine ulaşmıştır. Elde edilen değerler incelendiğinde, doğal protein konsantratu eklenmiş sucuk örneklerinde TBARS değerleri kontrol örneğine kıyasla daha düşük olmasına karşın, istatistiksel olarak bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ($P>0.05$). En yüksek TBARS değerlerine BKPK-US eklenmiş sucuk örneklerinde saptanmıştır. Ancak yapılan istatistiksel değerlendirmede, üç grupta (kontrol, BKPK-N ve BKPK-US) arasında farklılığın önemli olmadığı görülmüştür ($P>0.05$). Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, sucuk üretimine bezelye kabuk protein konsantratu eklemenin fermantasyon-kurutma prosesi sırasındaki lipit oksidasyonu üzerine herhangi bir etkisi olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Örneklerin fermantasyon-kurutma prosesi sırasında protein oksidasyon düzeyinde meydana gelen değişim karbonil sayısı ile belirlenmiştir (Çizelge 2). Protein konsantratu eklenmeyen kontrol örneklerinde, 6 günlük fermantasyon-kurutma sırasında karbonil sayısı 1.24 ± 0.56 nmol/mg proteinden 2.61 ± 0.47 nmol/mg protein düzeyine çıkmıştır. Öztürk-Kerimoğlu vd. (2019), yaptıkları çalışmada ısı işlem uygulamadan önce sucuk hamurunda karbonil sayısını 1.55 nmol/mg protein düzeyinde belirlemişlerdir. BKPK-N eklenmiş sucuk örneklerinde başlangıçta 2.32 ± 0.24 nmol/mg protein olan karbonil değeri, fermantasyon-kurutma sonunda 4.37 ± 0.88 nmol/mg protein düzeyine ulaşmıştır. BKPK-US eklenmiş örneklerde ise, 3.86 ± 1.48 nmol/mg proteinden 4.29 ± 0.09 nmol/mg protein düzeyine ulaşmıştır. Tüm uygulamalarda fermantasyon-kurutma boyunca karbonil içeriğinin yükseldiği, ancak meydana gelen değişimin gruplar arasında istatistiksel açıdan önemli olmadığı gözlenmiştir ($P>0.05$). Bu bağlamda, sucuk hamuruna bezelye kabuk protein konsantratu eklemenin fermantasyon-kurutma prosesi sırasındaki protein oksidasyonu üzerine herhangi bir etkisi olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Depolama sırasında meydana gelen değişimler

Fermantasyon-kurutma prosesini tamamlayan her üç grup sucuk örnekleri $+5^{\circ}\text{C}$ 'de 5 ay boyunca depolanmış ve bu depolama süresi boyunca

örneklerde lipit ve protein oksidasyon ürünlerindeki değişimi ortaya koymak amacıyla peroksit, TBARS ve karbonil sayısı analizleri gerçekleştirilmiştir.

Peroksit değeri

Birincil oksidasyon ürünlerini ortaya koymak amacıyla gerçekleştirilen bu analiz, oksidasyonun başlangıç aşamasında oluşmaya başlayan hidrojen peroksitlerin ilerleyen aşamalarda ikincil oksidasyon ürünlerine (malonaldehitler) dönüştüğünü ortaya koymuştur. Çizelge 3'ten de görüleceği üzere, her üç grup sucuk örneklerinde ilk ay içerisinde peroksit değerlerinde artış gözlenmiştir. Bu artışın, ultrases ile modifiye edilmiş protein konsantratları (BKPK-US) eklenmiş sucuk örneklerinde en fazla olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak yağlı gıdalarda peroksit sayısının maksimum 25 meq O_2/kg değerinin altında olması gerektiği bildirilmektedir (Narasimhan vd., 1986; Evranuz, 1993). BKPK-US eklenmiş sucuklarda peroksit değerinin 1. ayın sonunda bu kritik değerin üzerine çıktığı tespit edilmiştir. Kontrol ve BKPK-N örneklerinde de artışlar saptanmış ancak, birinci ayın sonunda ulaşılan değerler arasında istatistiksel olarak farklılık olmadığı ($P>0.05$) saptanmıştır. Ultrases uygulaması ile modifiye edilen protein konsantratu lipit oksidasyonunu engellemeye yardımcı olmuştur. Bu durum, ultrases uygulaması ile söz konusu protein yapısının kısmen denatürasyona uğrayıp, açılması sonucu protein içinde gömülü hidrofobik grupların açığa çıkması ile protein konsantratının lipit oksidasyonu açısından daha reaktif bir hale geldiğini ortaya koymuştur (Zhang vd., 2013).

Depolamanın birinci ayından sonra, ortamdaki hidroperoksitlerin hızla parçalandığı ve üçüncü ayın sonunda ise tamamen ikincil oksidasyon ürünlerine dönüştüğü saptanmıştır. Bu durum hidroperoksitlerin lipit oksidasyonunun başlangıç aşamasında artma eğiliminde olduğu ancak daha sonraki aşamada ise parçalanma hızının oluşum hızından yüksek olmasından dolayı azalma eğilimi göstermesi ile açıklanabilir (Georgantelis vd., 2007). Ancak bu durum TBARS değerlerindeki değişim ile doğrulanmamıştır.

Çizelge 3. Depolama sırasında sucuk örneklerinin peroksit, TBARS ve karbonil değerinde meydana gelen değişim

Table 3. Change of peroxide, TBARS and carbonyl values of the fermented sausage (sucuk) samples during storage

Depolama süresi (ay) Storage (month)	Peroksit değeri (meq O ₂ /kg yağ) Peroxide value (meq O ₂ /kg fat)		
	Kontrol (Control)	BKPK-N (PPPC-N)	BKPK-US (PPPC-US)
0	11.38±0.11 ^{bA}	8.15±0.32 ^{aB}	9.97±1.18 ^{bAB}
1	17.33±3.88 ^{aAB}	12.07±2.86 ^{aB}	25.92±4.03 ^{aA}
2	12.98±1.28 ^{abA}	7.84±1.73 ^{aA}	9.27±2.02 ^{bA}
3	0.60±0.85 ^{cA}	0.28±0.40 ^{bA}	0.87±1.23 ^{cA}
4			
5			

	TBARS değeri (mg MA/kg sucuk) TBARS value (mg MA/kg sucuk)		
	Kontrol (Control)	BKPK-N (PPPC-N)	BKPK-US (PPPC-US)
0	2.64±0.56 ^{abA}	2.24±0.13 ^{bcA}	3.10±0.12 ^{aA}
1	2.99±0.02 ^{aA}	2.89±0.06 ^{abA}	2.99±0.06 ^{aA}
2	2.72±0.10 ^{aA}	2.63±0.51 ^{abA}	3.09±0.43 ^{aA}
3	2.65±0.50 ^{abA}	2.54±0.14 ^{abA}	2.28±0.45 ^{bA}
4	3.42±0.60 ^{aA}	2.92±0.10 ^{aA}	3.28±0.20 ^{aA}
5	1.65±0.09 ^{bA}	1.89±0.28 ^{cA}	1.67±0.01 ^{bA}

	Karbonil sayısı (nmol/mg protein) Carbonyl content (nmol/mg protein)		
	Kontrol (Control)	BKPK-N (PPPC-N)	BKPK-US (PPPC-US)
0	2.61±0.47 ^{bcA}	4.37±0.88 ^{bA}	4.29±0.09 ^{bcA}
1	1.50±0.12 ^{cB}	2.84±0.66 ^{bA}	2.28±0.28 ^{dAB}
2	4.05±0.23 ^{abA}	4.60±0.54 ^{bA}	3.67±0.22 ^{cA}
3	4.04±0.34 ^{abB}	7.58±0.27 ^{aA}	4.16±0.86 ^{bcB}
4	5.18±1.32 ^{aA}	6.61±0.51 ^{aA}	5.74±0.25 ^{aA}
5	4.29±0.73 ^{abA}	6.73±1.07 ^{aA}	5.12±0.54 ^{abA}

Kontrol: Bitkisel protein ilave edilmemiş sucuk, BKPK-N: Doğal formda bezelye kabuk proteinini ilave edilmiş sucuk, BKPK-US: Ultrases ile modifiye edilmiş bezelye kabuk protein konsantratı ilave edilmiş sucuk
a-d: Aynı sütun içerisindeki farklı harfler aylar arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir ($P<0.05$)

A-B: Aynı satır içerisindeki farklı harfler gruplar arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir ($P<0.05$)

Her bir analiz kendi içinde istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Kontrol: Bitkisel protein ilave edilmemiş sucuk, BKPK-N: Doğal formda bezelye kabuk proteinini ilave edilmiş sucuk, BKPK-US: Ultrases ile modifiye edilmiş bezelye kabuk protein konsantratı ilave edilmiş sucuk

a-d: The different letters given in the column indicate a statistically significant difference among months ($P<0.05$)

A-B: The different letters given in the row indicate a statistically significant difference among groups ($P<0.05$)

Each analysis was statistically evaluated within itself.

Control: The fermented sausage without pea pod protein concentrate (PPPC), PPPC-N: The fermented sausage with native pea pod protein concentrate, PPPC-US: The fermented sausage with ultrasound-modified PPPC.

TBARS değeri

Lipid oksidasyonunun başlangıç aşamasında oluşan hidroperoksitler ara ürünler olup bunlar bitiş aşamasında daha kısa zincirli ve kararlı aldehit, keton, organik asit gibi son ürünlere

dönüşerek, üründe ransid tat oluşumuna neden olmaktadır. İşte bu amaçla et ürünlerinde lipid oksidasyonun son ürünlerini belirlemek için TBARS değeri göz önünde bulundurulmaktadır. Çizelge 3'ten de görüleceği üzere, depolamada ilk

bir ayın sonunda BKPK-N örneklerinin TBARS değeri 2.24 ± 0.13 mg MA/kg değerinden 2.89 ± 0.06 mg MA/kg değerine yükselmiştir. Daha sonra ise peroksit değerindeki azalışa paralel olarak, TBARS değerlerinde artma beklenirken TBARS değerlerinde böyle bir artış gözlenmemiştir. Her üç uygulamada da, depolamanın 1–4 ayları arasında TBARS değerleri lineer bariz azalış veya artış sergilememiş, meydana gelen değişimin istatistiksel olarak önemsiz olduğu görülmüştür. Her üç uygulamada da TBARS değeri depolamanın 4. ayında maksimum değerine ulaşmıştır. Kontrol, BKPK-N ve BKPK-US sucuk örneklerinin 4. aydaki TBARS değerleri 3.42 ± 0.60 , 2.92 ± 0.10 ve 3.28 ± 0.20 mg MA/kg'dan 5. ayın sonunda 1.65 ± 0.09 , 1.89 ± 0.28 ve 1.67 ± 0.01 mg MA/kg değerine düşmüştür. Ancak 5. ayın sonunda her üç uygulama arasında istatistiksel olarak fark olmadığı saptanmıştır ($P > 0.05$). Bu durum ise, oluşan malonaldehitlerin çok stabil bileşikler olmadığı başka bileşiklere dönüşebileceği ile açıklanabilir (Melgar vd., 1990; Lorenzo ve Franco, 2012). Viogere-Amor vd. (2022) kuru fermente sosisler üzerine yaptıkları çalışmada, 30 günlük olgunlaştırma periyodundan sonra örnekleri depolanmışlar ve 4. ayda TBARS değeri maksimum değere ulaştığını saptamışlardır. Araştırmacılar 4. aydan sonra keskin bir düşüş gözlemlemişler ve bu düşüşü malonaldehitlerin stabil olmayışları ile ilişkilendirmişlerdir.

Yapılan detaylı literatür taramasında, protein konsantratlarının fermente et ürünlerine eklenerek lipit oksidasyonu üzerine etkisini inceleyen bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu konuda yapılan tek çalışma, Pena-Ramos ve Xiong (2003) tarafından whey (peyniraltı suyu) ve soya protein hidrolizatlarının pişmiş domuz köftesinde lipit oksidasyonunun inhibisyonuna yöneliktir. Ancak bu çalışmada, whey ve soya protein izolatları enzimlerle muamele edilerek hidrolizat formuna dönüştürüldükten sonra ete eklenmiştir. Kontrol örneklerine kıyasla soya ve whey protein hidrolizatı eklenmiş örneklerin 7 günlük depolama boyunca TBARS değerlerinin daha düşük düzeyde kaldığı rapor edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, sucuk üretimine BKPK'nın doğal veya ultrases uygulanmış formu ile eklenmesinin,

sucuk örneklerinin TBARS değerleri üzerine herhangi bir olumlu etki yaratmadığını ortaya koymuştur.

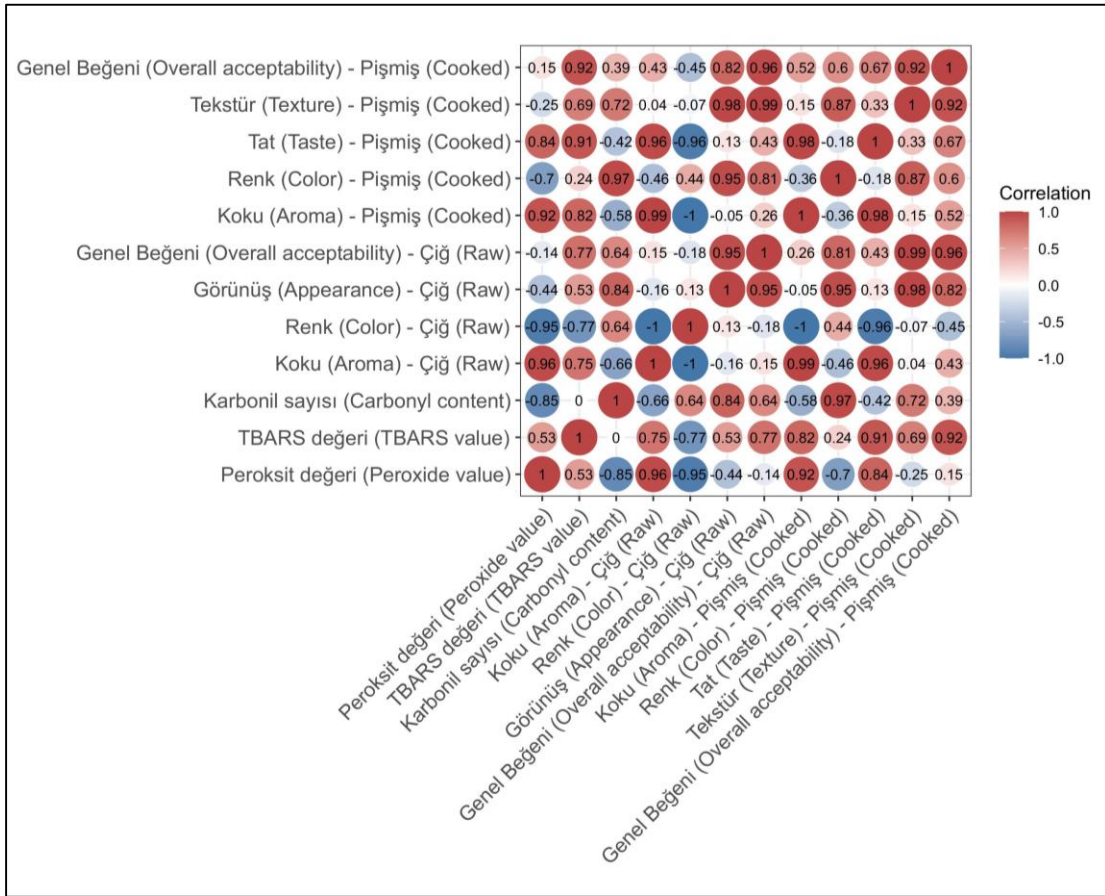
Karbonil sayısı

Her üç uygulamaya ilişkin (Kontrol, BKPK-N ve BKPK-US) $+5^{\circ}\text{C}$ 'de 5 aylık depolama periyodu boyunca meydana gelen protein oksidasyonu karbonil değerleri ile izlenmiştir (Çizelge 3). Protein konsantratı eklenmemiş kontrol örneklerinde karbonil değeri en düşük 1.5 ± 0.12 nmol/mg protein ile 1. ayın sonunda, en yüksek 5.18 ± 1.32 nmol/mg protein ile 4. ayın sonunda gözlenmiştir. BKPK-N eklenmiş sucuk örneklerinde en düşük karbonil değeri, 2.84 ± 0.12 nmol/mg protein ile 1. ayın sonunda, en yüksek 7.58 ± 0.27 nmol/mg protein ile 3. ayın sonunda saptanmıştır. BKPK-US eklenmiş sucuk örneklerinde ise, en düşük karbonil değeri, 2.28 ± 0.28 nmol/mg protein ile 1. ayın sonunda, en yüksek 5.74 ± 0.25 nmol/mg protein ile 4. ayın sonunda saptanmıştır. Protein konsantratı eklenmemiş kontrol örneklerinin depolama başlangıcında karbonil sayısının, eklenmiş sucuk örneklerine kıyasla daha düşük olduğu saptanmıştır. Bu durum eklenen protein konsantratlarının, mevcut protein oksidasyonuna ek olarak kendilerinin oksidasyona uğrayarak karbonil sayısını kısmen artırması ile açıklanabilir. Depolamanın ilk birinci ayında her üç örnekte de paralel bir azalma görülmüş ve BKPK-N ve BKPK-US örneklerinin karbonil değerleri arasında istatistiksel olarak farklılık olmadığı ($P > 0.05$) tespit edilmiştir. 1. ayın sonunda kontrol örneklerinin karbonil değeri, konsantrat eklenmiş örneklerden istatistiksel olarak farklılık arz ederken, 2. ayın sonunda her üç grup uygulamanın karbonil değerleri birbirinden istatistiksel olarak farklılık göstermemiştir. 3. ayın sonunda, BKPK-N eklenmiş örneklerin karbonil değeri 7.58 ± 0.27 nmol/mg protein ile maksimum değerine ulaşırken, BKPK-US ve kontrol örnekleri arasında farklılık saptanamamıştır ($P > 0.05$). BKPK-US ve kontrol örnekleri 4 ayın sonunda maksimum değerlerine ulaşırken, BKPK-N eklenmiş örneklerde azalma trendi gözlenmiştir. Her üç grup uygulamanın hem 4. ayın sonunda hem de 5. ayın sonunda erişilen karbonil değerleri arasında istatistiksel olarak farklılık

saptanmamıştır. Genel anlamda, eklenen protein izolatları (BKPK-N ve BKPK-US) kontrol örneklerine kıyasla mevcut protein oksidasyonunda ek kısmı artışlara neden olabileceği, ancak bu artışın istatistiksel olarak önemli olmadığı tespit edilmiştir. Literatürde bu şekilde protein konsantratu eklenerek oksidasyon özelliğinin incelendiği bir çalışma olmadığı için herhangi bir kıyaslama yapılamamıştır.

Bu üç bağımsız değişkenlerin birbiri ile korelasyonu incelendiğinde TBARS değerinin karbonil sayısı ile bir ilişkisi saptanamazken,

peroksit değeriyle 0.53 düzeyinde zayıf bir korelasyonunun olduğu görülmüştür. Peroksit değeri ile karbonil sayısı arasında ise negatif güçlü bir ilişki ($r = -0.85$) tespit edilmiştir (Şekil 3). Ancak bu korelasyon düzeyleri istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($P > 0.05$). Bizim sonuçlarımızın aksine, Öztürk-Kerimoğlu vd. (2019) ısıtma işlem görmüş sucuklar üzerine yaptıkları çalışmada peroksit ile TBARS değerleri arasında güçlü negatif bir ilişki ($r = -0.805$), buna karşın peroksit ile karbonil sayısı arasında pozitif bir ilişki ($r = 0.768$) olduğunu ortaya koymuşlardır.



Şekil 3. Sucuk örneklerinin kimyasal ve duysal özelliklerinin korelasyonu
 Figure 3. Correlation between chemical and sensory properties of fermented sausages (sucuk)

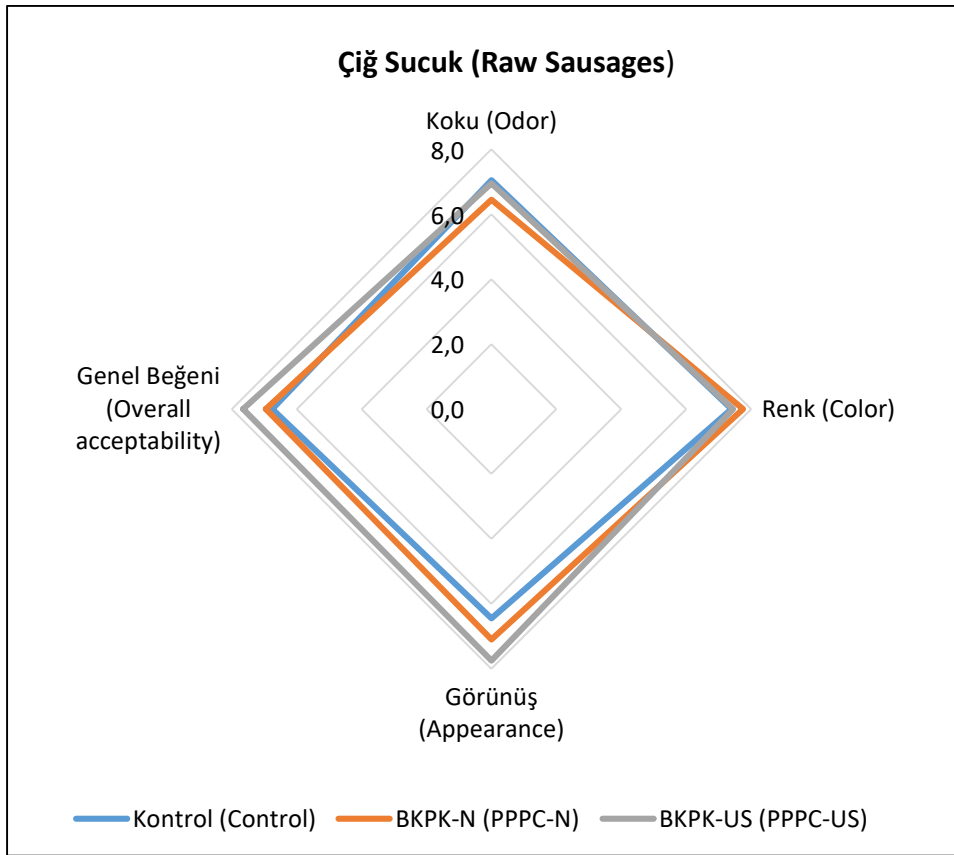
Duysal değerlendirme

Fermentasyon sonrasında elde edilen çiğ sucuk örneklerine ait duysal analiz sonuçları Şekil 4'te verilmiştir. Koku, renk, görünüş ve genel beğeni çiğ sucuk için sırasıyla 6.5–7.1, 7.4–7.8, 6.5–7.8,

6.8–7.7 aralıklarında değişmiş olup tüm örnekler 9 noktalı hedonik skalada ortalamının üzerinde yer almıştır. Bu durum, bezelye kabuğu protein konsantratının çiğ sucuğa ilave edilmesinin duysal olarak olumsuz bir duruma yol açmadığı

ve kontrole yakın özelliklerin elde edildiği sonucunu doğurmaktadır. Sucuk pişirilerek servis edildikten sonra koku, renk, tat, tekstür ve genel beğeni açısından değerlendirildiğinde sırasıyla 6.7–7.6, 7.3–8, 7.3–7.6, 7.3–7.5 aralığında puanlar verildiği görülmektedir (Şekil 5). Doğal formda bulunan protein konsantratu ilavesi ile yapılan sucuklarda koku ve renk açısından protein katılmayan (kontrol) ve US uygulanmış protein

konsantratu katılı sucuk örneklerine göre sapmalar görülmektedir ($P<0.05$). Tüm özellikler bir arada değerlendirildiğinde puanlar açısından önemli düzeyde bir farklılık olmamakla beraber ($P>0.05$), US uygulanmış protein konsantratu katılı sucuklar daha fazla beğeni kazanmıştır. Bu bulgular fermentasyon-kurutmanın hemen sonrasında ve depolama sürecinin başındaki sucuk örneklerini temsil etmektedir.

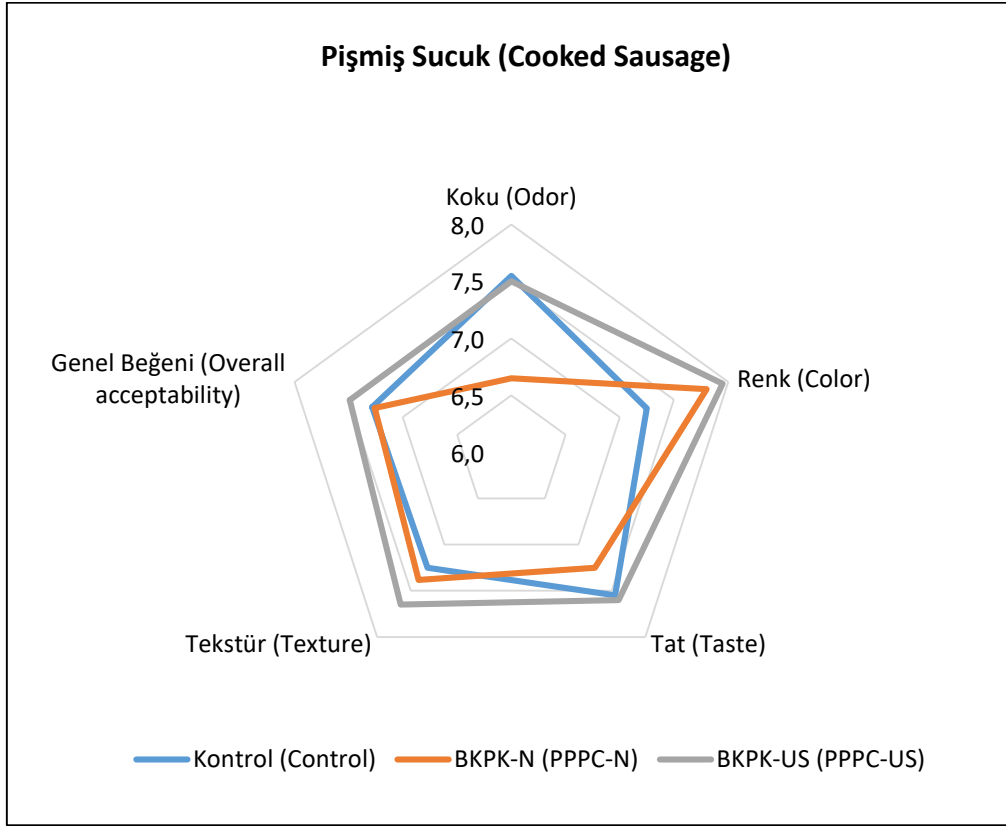


Şekil 4. Çiğ sucuklara ilişkin duyu analizi sonuçları

Kontrol: Bitkisel protein ilave edilmemiş sucuk, BKPK-N: Doğal formda bezelye kabuk proteinini ilave edilmiş sucuk, BKPK-US: Ultrases ile modifiye edilmiş bezelye kabuk protein konsantratu ilave edilmiş sucuk

Figure 4. Sensory evaluation mean scores of raw fermented sausages (sucuk)

Control: The fermented sausage without pea pod protein concentrate (PPPC), PPC-N: The fermented sausage with native pea pod protein concentrate, PPC-US: The fermented sausage with ultrasound-modified PPC



Şekil 5. Pişmiş sucuklara ilişkin duyu analizi sonuçları

Kontrol: Bitkisel protein ilave edilmemiş sucuk, BKPK-N: Doğal formda bezelye kabuk proteinini ilave edilmiş sucuk, BKPK-US: Ultrases ile modifiye edilmiş bezelye kabuk protein konsantratu ilave edilmiş sucuk

Figure 5. Sensory evaluation mean scores of cooked fermented sausages (sucuk)

Control: The fermented sausage without pea pod protein concentrate (PPPC), PPC-N: The fermented sausage with native pea pod protein concentrate, PPC-US: The fermented sausage with ultrasound-modified PPC

Bu çalışmada sucuk üretimi, ısı işlem uygulanmadan gerçekleştirilmiştir. Üretilen sucuklar +5°C'de depolanmasına karşın, sucuk örneklerinde küflenme başlamış ve depolamanın ilerleyen haftalarında (2 ay) sucuk örneklerinde yoğun bir sülfür kokusunun eşlik ettiği bozulma kokusu algılanmıştır. Sucuklardaki küf dışında belirlenen olası mikrobiyel bozulmaya, sucuk hamurunun mikroflorasında bulunması olası olan ve risk oluşturan *Clostridium* spp. gibi anaerobik basiller ile koliform grup bakteriler gibi fakültatif anaerobik karakterdeki bakterilerin neden olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle sucukta gözlemlenen mikrobiyel bozulma nedeniyle panelistlerin sağlığı göz önüne alınarak sadece depolama sürecinin başında duyu analizi

gerçekleştirilmiştir. Depolama süresince ise, sadece genel görünüş ve koku takibi yapılmıştır. Tüm sucuk örneklerinin 2. aydan itibaren duyu analizi olarak tüketiminin uygun olmayacağı kararlaştırılmış olsa da protein ve yağ oksidasyonu ile ilişkili reaksiyonların ortaya koyulabilmesi için sucuk kalite özellikleri 5 aylık depolama süresince kimyasal analizlerle takip edilmiştir. Ayrıca lipit fraksiyonlarının oksidasyonunda gözlenen değişimler, depolama boyunca mikrobiyel kökenli enzimatik faaliyetlerle ilişkilendirilebilir. İşlenmiş et ürünlerinden izole edilen mikroorganizma suşlarının yüksek lipolitik veya proteolitik aktiviteye sahip olabilecekleri ve dolayısı ile ürünün oksidasyonunda değişimlere neden olabilecekleri bilinmektedir (Dominguez vd.,

2021; Tatiyaborworntham vd., 2022). Duyusal değerlendirme parametreleri arasındaki korelasyonlara ilişkin yapılan değerlendirmede, pişmiş sucuklarda genel beğeni ile tekstür arasında ($r=0.92$), çiğ sucuklarda genel beğeni ile görünüş arasında güçlü pozitif bir ilişki ($r=0.95$) olduğu saptanmıştır. Yine pişmiş sucuk örneklerinde koku ile tat arasında çok güçlü pozitif bir ilişki ($r=0.98$) gözlenmiştir (Şekil 3).

SONUÇ

Bu çalışmada, bezelye kabuk protein konsantratinin gıda bileşeni olarak sucuk üretiminde oksidatif stabilite üzerine etkisi incelenmiştir. Sucuk üretiminde kontrol (K, protein konsantrati eklenmemiş), %1 oranında ultrases uygulanmamış bezelye kabuk protein konsantrati (BKPK-N) ve %1 oranında ultrases uygulanmış bezelye kabuk protein konsantrati (BKPK-US) olmak üzere üç farklı uygulama yapılmıştır. Söz konusu uygulamaların hem 6 günlük fermantasyon-kurutma hem de 5 aylık depolama periyodu boyunca oksidatif stabilite üzerine herhangi bir katkısı olmadığı tespit edilmiştir. Alternatif kaynaklardan elde edilen bitkisel proteinlerin hidrolizat formları elde edilerek farklı gıda çeşitlerinde test edilmesi hem yeni ürün geliştirme hem de mevcut ürünlerin kalite özelliklerini iyileştirme yönünde atılan adımlara önemli düzeyde katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada sucuk üretiminde kullandığımız starter kültürü ücretsiz olarak sağlayan Prof. Dr. Gürhan Çiftçiöğlü'na (İnovatif Biyoteknoloji, İstanbul) teşekkür ediyoruz. Ayrıca sucuk üretiminde ve analizlerinde çok kıymetli deneyimleri ve bilgilerini bizimle paylaşan Doç. Dr. Hüdayi Ercoşkun'a, Doç. Dr. Haluk Ergezer'e ve Gıda Yüksek Mühendisi Orhan Özünlü'ye sonsuz teşekkür ediyoruz. Ayrıca bu makaleyi inceleyip, yapıcı eleştirileri ve önerileri ile makalenin içerik olarak geliştirilmesinde çok ciddi katkılar sağlayan hakemlere müteşekkirimiz. Bu araştırma TÜBİTAK 119O488 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

YAZAR KATKILARI

Tüm yazarlar çalışmanın deneysel kısmının gerçekleştirilmesinde, makalenin hazırlanmasında ve yayınlanmasında eşit katkı sağlamışlardır

KAYNAKLAR

Akharume, F.U., Aluko, R. E., Adedeji, A. A. (2021). Modification of plant proteins for improved functionality: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(1), 198–224.

Anonim (2019). Türk Gıda Kodeksi Et, Hazırlanmış Et Karışımları ve Et Ürünleri Tebliği. No: 2018/52.

AOAC. (1995). Official methods of analysis (16th ed.), Washington, DC, USA: Association of Official Analytical Chemists.

Arcan, I., Yemenicioğlu, A. (2007). Antioxidant activity of protein extracts from heat-treated or thermally processed chickpeas and white beans. *Food Chemistry*, 103(2), 301–312.

Çoşkun, Ö., Ertaş, H., Soyer, A. (2010). The effect of processing method and storage time on constituents of Turkish sausages (sucuk). *Journal of Food Processing and Preservation*, 34, 125–135.

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.

Domínguez, R., Pateiro, M., Munekata, P. E., Zhang, W., Garcia-Oliveira, P., Carpena, M., ... Lorenzo, J. M. (2021). Protein oxidation in muscle foods: A comprehensive review. *Antioxidants*, 11 (1), 60.

Erçoşkun, H. (2006). Isıl işlem uygulanarak üretilen sucukların bazı kalite özelliklerine fermantasyon süresinin etkileri (Doktora Tezi). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

Evranuz, O.E. (1993). "The effects of temperature and moisture content on lipid peroxidation during storage of unblanched salted roasted peanuts: shelf life studies of unblanched salted roasted peanuts, *International Journal of Food Science and Technology*, 28:193–199.

- Foegeding, E. A., Davis, J. P. (2011). Food protein functionality: A comprehensive approach. *Food Hydrocolloids*, 25(8), 1853–1864.
- Foegeding, E. A. (2015). Food protein functionality—a new model. *Journal of Food Science*, 80(12), C2670–C2677.
- Georgantelis, D., Blekas, G., Katikou P., Ambrosiadis, I. and Fletouris, D. J. (2007). Effect of rosemary extract, chitosan and α -tocopherol on lipid oxidation and colour stability during frozen storage of beef burgers. *Meat Science*, 75:256–264.
- Gray, J. I., Gomaa, E. A., Buckley, D. J. (1996). Oxidative quality and shelf life of meats. *Meat Science*, 43, 111–123.
- Hu, M., McClements, D. J., Decker, E. A. (2003). Lipid oxidation in corn oil-in-water emulsions stabilized by casein, whey protein isolate, and soy protein isolate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 1696–1700.
- Hu, H., Wu, J., Li-Chan, E. C., Zhu, L., Zhang, F., Xu, X., ... Pan, S. (2013). Effects of ultrasound on structural and physical properties of soy protein isolate (SPI) dispersions. *Food Hydrocolloids*, 30(2), 647–655.
- Ismail, B. P., Senaratne-Lenagala, L., Stube, A., Brackenridge, A. (2020). Protein demand: Review of plant and animal proteins used in alternative protein product development and production. *Animal Frontiers*, 10(4), 53–63.
- Kaban, G. (2013). Sucuk and pastırma: Microbiological changes and formation of volatile compounds. *Meat Science*, 95(4), 912–918.
- Karabulut, G., Yıldız, S., Karaca, A. C., Yemiş, O. (2023). Ultrasound and enzyme-pretreated extraction for the valorization of pea pod proteins. *Journal of Food Process Engineering*, 46(12), e14452.
- Köseoğlu, İ.E. (2014). Çeşitli et ürünlerinde üretim aşamalarının yağ asidi bileşimi ve yağ oksidasyonu üzerine etkisi (Doktora Tezi). Selçuk Üniversitesi. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye.
- Kumar, M., Tomar, M., Punia, S., Dhakane-Lad, J., Dhupal, S., Changan, S., ... & Kennedy, J. F. (2022). Plant-based proteins and their multifaceted industrial applications. *LWT*, 154, 112620.
- Kurt, E. (2009). Sucukta organik asit kompozisyonuna farklı karbonhidrat kaynaklarının etkisi (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Liaros, N. G., Katsanidis, E., Bloukas, J. G. (2009). Effect of ripening time under vacuum and packaging film permeability on processing and quality characteristics of low-fat fermented sausages. *Meat Science*, 83, 589–598.
- Lorenzo, J. M., Franco, D. (2012). Fat effect on physico-chemical, microbial and textural changes through the manufactured of dry-cured foal sausage lipolysis, proteolysis and sensory properties. *Meat Science*, 92, 704–714.
- Melgar, M. J., Sanchez-Monge, J. M. and Bello, J. (1990). A study of the changes in the chemical properties of fat during ripening of dry Spanish sausage. *Journal of Food Composition and Analysis*, 3, 73–80.
- Mielnik, M. B., Olsen, E., Vogt, G., Adeline, D., Skrede, G. (2006). Grape seed extract as antioxidant in cooked, cold stored turkey meat. *LWT-Food Science and Technology*, 39, 191–198.
- Narasimhan, S., Raghuvver, K. G., Arumngam, C., Bhat, K. K., Sen, D. P. (1986). Oxidative rancidity of groundnut oil evaluation by sensory and chemical indices and their correlation. *Journal of Food Science and Technology*, 23:273–277.
- Oliver, C. N., Ahn, B. W., Moerman, E. J., Goldstein, S. Stadtman, E. R. (1987). Aged-related changes in oxidized proteins. *Journal of Biological Chemistry*, 262:5488–5491.
- Olivares, A., Navarro, J. L., Flores, M. (2011). Effect of fat content on aroma generation during processing of dry fermented sausages. *Meat Science*, 87, 264–273
- Öztürk-Kerimoğlu, B., Nacak, B., Özyurt, V.H., Serdaroğlu, M. (2019). Protein oxidation and in vitro digestibility of heat-treated fermented sausages: How do they change with the effect of

- lipid formulation during processing?. *Journal of Food Biochemistry*, 43(11), 1–13.
- Pateiro, M., Franco, D., Carril, J. A., Lorenzo, J. M. (2015). Changes on physico-chemical properties, lipid oxidation and volatile compounds during the manufacture of celta dry-cured loin. *Journal of Food Science and Technology*, 52, 4808–4818.
- Peña-Ramos, E.A., Xiong, Y.L. (2003). Whey and soy protein hydrolysates inhibit lipid oxidation in cooked pork patties. *Meat Science*, 64(3), 259–263.
- Rajapakse, N., Mendis, E., Jung, W., Je, J., Kim, S. (2005). Purification of a radical scavenging peptide from fermented mussel sauce and its antioxidant properties. *Food Research International*, 38, 175–182.
- Soyer, A., Ertas, A. H. (2007). Effects of fat level and storage time on lipid and color stability of naturally fermented Turkish sausages (Sucuk). *Journal of Muscle Foods*, 18, 330–340.
- Tatıyaborworntham, N., Oz, F., Richards, M. P., Wu, H. (2022). Paradoxical effects of lipolysis on the lipid oxidation in meat and meat products. *Food Chemistry: X*, 14, 100317.
- TSE. (2012). TS 1070. Türk Sucuğu, Türk Standartları Enstitüsü, Bakanlıklar/Ankara.
- Toldra, F. (1998). Proteolysis and lipolysis in flavour development of dry-cured meat products. *Meat Science*, 49, S101-S110.
- Toptancı, İ., Erçoşkun, H. (2017). Physicochemical and microbiological properties of Sucuk produced with different heat treatment temperatures. *Akademik Gıda*, 15(4), 344–349.
- Vioque-Amor, M., Gómez-Díaz, R., Clemente-López, I.; Sánchez-Giraldo, M.; Avilés-Ramírez, C. (2022). Influence of common reducing agents on technological parameters of dry-fermented sausages with low fat Content. *Foods*, 11, 2606.
- Zhang, W., Xiao, S., Ahn, D. U. (2013). Protein oxidation: basic principles and implications for meat quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(11), 1191–1201.