



FERMENTE ET ÜRÜNLERİNDE OKSİDATİF DEĞİŞİKLİKLER VE ÜRÜN KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Hülya Serpil Kavuşan, Meltem Serdaroğlu*

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir, Turkey

Geliş / Received: 15.10.2020; Kabul / Accepted: 16.02.2021; Online baskı / Published online: 22.03.2021

Kavuşan, H.S., Serdaroğlu, M. (2021). Fermente et ürünlerinde oksidatif değişiklikler ve ürün kalitesi üzerine etkileri. *GIDA* (2021) 46(2) 443-462 doi: 10.15237/gida. GD20122.

Kavuşan, H.S., Serdaroğlu, M. (2021). Oxidative changes in fermented meat products and their effects on product quality. GIDA (2021) 46(2) 443-462 doi: 10.15237/gida. GD20122.

ÖZ

Et ve et ürünlerine uygulanan boyut küçültme, kürlleme, ısı işlem, fermantasyon ve depolama gibi işleme yöntemleri, yağ ve proteinlerin oksidasyonuna yol açmaktadır. Fermente et ürünlerinde gelişen oksidasyonun derecesi ürünün kalitesi, güvenilirliği ve besleyici değeri açısından önem taşımaktadır. Proses koşulları dışında formülasyonda yer alan yağ tipi, yağın eklenme şekli ve miktarı da oksidasyon reaksiyonlarını etkilemektedir. Lipid ve protein oksidasyonu birbirlerini etkileyen reaksiyonlar olup artan lipid oksidasyonu protein oksidasyonu reaksiyonlarını tetiklemektedir. Bu çalışmada fermente et ürünlerinde gelişen oksidasyon reaksiyonlarının mekanizmalarının ve reaksiyonların birbirleriyle olan ilişkilerinin derlenmesi amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Fermente et ürünü, lipid oksidasyonu, protein oksidasyonu, sucuk

OXIDATIVE CHANGES IN FERMENTED MEAT PRODUCTS AND THEIR EFFECTS ON PRODUCT QUALITY

ABSTRACT

Applications such as size reduction, curing, heat treatment, fermentation and storage applied to meat and meat products cause lipids and proteins to be oxidized. Oxidation of fermented meat products is important in terms of quality, safety, and nutritional value point of view. Besides the process conditions, type of added fat/oil in the formulation, the amount and application forms of added fat/oil effects the oxidation reactions. Lipid and protein oxidation are reactions that associated with each other and increased lipid oxidation also triggers protein oxidation reactions. In this study, it was aimed to compile the mechanisms of oxidation reactions and their interactions in fermented meat products.

Keywords: Fermented meat product, lipid oxidation, protein oxidation, sucuk

* Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author

✉: meltem.serdaroglu@ege.edu.tr,

☎: (+90) 232 311 1314

☎: (+90) 232 311 4831

Hülya Serpil Kavuşan; ORCID no: 0000-0003-2928-8020

Meltem Serdaroğlu; ORCID no: 0000-0003-1589-971X

GİRİŞ

Taze etler raf ömrünü uzatmak ve tüketimi çeşitlendirmek amacıyla çeşitli formülasyonlar ve teknolojiler kullanılarak et ürünlerine işlenmektedir. Fermente et ürünleri, büyükbaş ve küçükbaş hayvan etlerinin ve yağlarının kıyılarak baharatlar ve kürlenme maddeleri ile karıştırıldıktan sonra doğal veya yapay kılıflara doldurularak belirli koşullarda fermantasyon ve olgunlaştırma-kurutma işlemi uygulanan et ürünleridir (Gallego vd., 2018). Kurutma işlemi sonrasında ürün kompozisyonundaki yağ miktarı %30-40 düzeylerine ulaşabilmektedir. Fermente et ürünlerinin önemli bir girdisi olan yağ; lezzet, tekstür, ağız hissi, sululuk ve granüler yapı oluşumu gibi kalite kriterlerini etkilemektedir (Olivares vd., 2011). Bununla birlikte yüksek oranlarda doymuş yağ asitleri ve kolesterol içeren yağların tüketimi yüksek kan kolesterolü, obezite, kalp-damar rahatsızlıkları ve bazı kanser türleri ile ilişkilendirilmektedir (Fonseca vd., 2015; Jimenez Colmenero vd., 2015).

Fermente et ürünlerinin işlenmesi sırasında lipidler ve proteinlerde lipolitik, proteolitik ve oksidatif değişiklikler oluşmaktadır. Fermente sosislerin olgunlaştırma basamağında gelişen proteoliz, ürünlerin nihai doku ve lezzetinin gelişimi açısından önemlidir (Jokanovic vd., 2017).

Kesim sonrasında endojen antioksidanların aktivitesinin azalması ve nihayet kaybolması nedeniyle proteinler ve lipidler oksidasyona duyarlı hale gelmektedir. Oksidasyon reaksiyonları et ürünlerinin kalitesini ve raf ömrünü etkileyen en önemli değişikliklerdir (dos Santos vd., 2017). Hayvanın türü, besi çeşidi, kas tipi ve besi ortamı, metal iyonlarının varlığı, enzimlerde bulunan ağır metaller ve metalloproteinler, ette oksidasyon hızının artmasında etkili olmaktadır. Bu faktörlerin yanı sıra ortamdaki oksijen varlığı, ışık, sıcaklık, katkı maddeleri, işleme teknikleri ve ambalajlama işlemi de oksidasyon gelişimi üzerine etkilidir (Jacobsen vd., 2008).

Lipid oksidasyonu ransit tat ve istenmeyen lezzet oluşumu, sızıntı kaybı, renk kaybı, toksik bileşenlerin oluşumu ve besleyici değerde azalma

gibi olumsuz değişikliklere neden olmaktadır (Domínguez vd., 2019; Huang ve Ahn., 2019). Protein oksidasyonu sonucunda, elzem amino asitlerin miktarı ve protein sindirilebilirliği azalmakta, renk ve tekstür gibi kalite kriterlerinde de istenmeyen değişiklikler görülmektedir (Lund vd., 2011).

Fermente et ürünlerinde lipid oksidasyonu araştırmacılar tarafından detaylı olarak incelenerek tüm mekanizmaları ve etkileri ortaya konmuştur (Olivares vd., 2011, Berardo vd., 2016; Wójciak vd., 2019; Zhao vd., 2020). Fermente et ürünlerinde protein oksidasyonunun mekanizmasının anlaşılmasına yönelik çalışmalar da sürdürülmektedir (Fuentes vd., 2014; Munekata vd., 2017; Ge vd., 2019; Öztürk-Kerimoğlu vd., 2019a; Zhao vd., 2020). Bu makalede fermente et ürünlerinde protein ve lipid oksidasyonu mekanizmaları ve bu mekanizmalar üzerine etkili faktörler literatür bilgisine dayanılarak derlenmiştir.

FERMENTE ET ÜRÜNLERİNDE MEYDANA GELEN BİYOKİMYASAL DEĞİŞİMLER

Fermente et ürünlerinde fermantasyon ve olgunlaştırma süresince lezzet, renk ve tekstürü etkileyen lipoliz ve proteoliz reaksiyonları gerçekleşmektedir (Xiao vd., 2020). Lipoliz ve proteoliz sonucu açığa çıkan serbest yağ asitleri ve amino asitler, yüksek iyonik şiddet ve düşük pH değerleri lipid oksidasyonu ve protein oksidasyonunu teşvik etmektedir (Wójciak vd., 2012). Lipoliz sonucu oluşan doymamış serbest yağ asitleri okside olarak alkan, alken, aldehit ve ketonları oluşturmada ve ürün lezzeti olumsuz etkilenmektedir (Lorenzo vd., 2016; Chen vd., 2017). Ürünlerde kabul edilemeyen kalite değişiklikleri gözlenmesinin yanı sıra gelişen reaksiyonlar sonucu oluşan toksik bileşiklerin insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sahip olduğu bilinmektedir (Šojić vd., 2015).

Fermente et ürünlerinde proteoliz, proteinlerin endojen ve eksojen proteolitik enzimler aracılığıyla polipeptitlere parçalanması ile başlamakta, polipeptitler, peptidazlarca peptitlere dönüşmekte, peptitlerden uçucu olmayan tat

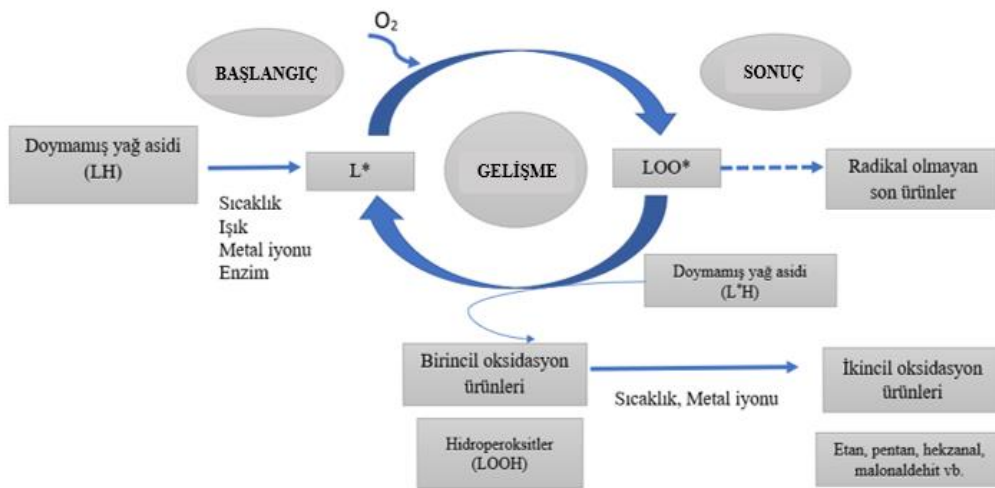
bileşikleri ve uçucu aroma bileşikleri oluşmaktadır (Ikonić vd., 2014; Wang vd., 2017). Lipoliz ve lipid oksidasyonu sonucu oluşan bileşikler üründe aroma üzerine etkili iken, proteinlerin parçalanması sonucu oluşan peptitler ve serbest amino asitler ise lezzet gelişiminde rol oynamaktadır (Pérez-Santaescolástica vd., 2018; Zhou vd., 2019). Proteoliz sonucu oluşan peptit ve amino asitlerin tekstürde meydana gelen değişikliklerden de sorumlu olduğu bilinmektedir (dos Santos Cruzen vd., 2019; de Lima Alves vd., 2020). Proteinlerde gelişen oksidasyon, μ -kalpain inaktivasyonuna dolayısıyla proteolizin azalmasına neden olarak tekstür üzerinde olumsuz değişikliklere yol açmaktadır (Bao ve Ertbjerg, 2019). Bunlar dışında proteoliz et ürünlerinde renk ve su tutma kapasitesini de etkilemektedir (Kazemi vd., 2011). Proteoliz sonucunda açığa çıkan serbest amino asitler, parçalanma reaksiyonları, dekarboksilasyon, deaminasyon ve transaminasyon gibi çeşitli reaksiyonlarda yer alarak aminler, keto asitler, organik asitler ve amonyak gibi farklı bileşiklere dönüşmekte ve ürünün duyuşsal olarak kabul edilebilirliğini azaltmaktadır (Zhang vd., 2017).

FERMENTE ET ÜRÜNLERİNDE LİPİD OKSİDASYONU

Fermentasyonda endojen veya eksojen enzimlerin etkisiyle açığa çıkan serbest yağ asitleri;

oksidasyona yatkın olmaları nedeniyle serbest radikallerin varlığı, sıcaklık, metal iyonları ve oksidatif enzimlerin aktivitesine bağlı olarak peroksitlere dönüşmektedir (Amaral vd., 2018). Oksidasyonun ilk aşamasında meydana gelen hidroperoksitler ürünün lezzetini etkilemezken, peroksitlerin ikincil oksidasyon ürünlerine dönüşmesi veya peptitler ve amino asitlerle reaksiyona girmeleri sonucunda lezzet üzerine etkili olan uçucu ve uçucu olmayan (aldehitler, alkoller, ketonlar, furanlar, karboksilik asitler vb.) bileşikler oluşmaktadır (Chen vd., 2017).

Lipid oksidasyonu başlangıç, gelişme ve sonuç aşamalarından oluşmakta ve otooksidatif olarak gelişmektedir (Şekil 1). İlk aşamada reaktif oksijen türleri lipid moleküllerinden (LH) hidrojen atomunu ayırarak bu molekülün lipid radikallerine (L^*) dönüşümüne yol açmaktadır. Yayılma aşamasında lipid radikallerinin oksijenle reaksiyona girmesiyle, ortaya çıkan birincil oksidasyon ürünü lipid hidroperoksitleri (LOOH)'dir. Lipid hidroperoksitleri sıcaklık, metal iyonları ve enzimler gibi katalizörlerin etkisiyle bir dizi zincir reaksiyonlar sonucunda etan, pentan gibi ürünlere, aldehitler ise heksanal ve malonaldehit gibi oksidasyon ürünlerine dönüşürler (Guyon vd., 2016).



Şekil 1. Et ve et ürünlerinde gelişen lipid oksidasyonu reaksiyonları

Fermente et ürünlerinde lipidlerin oksidasyonu ile oluşan uçucu bileşiklerin özellikleri yağ asidi kompozisyonuna bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle fermente et ürünlerinde lipid oksidasyonu ürünleri arasındaki ana farklılıklar; kaslar arası, kas içi ve kabuk yağı lipid içeriği gibi hammadde niteliklerine, olgunlaştırma, kurutma ve depolama sıcaklığı, süresi gibi bazı işlem parametrelerine, tuz miktarına, starter kültürün karakterine, amino asitlerin ve karbonhidratların parçalanma düzeyine bağlıdır (Gök, 2015; Özkal ve Erçoşkun, 2016; Van Ba vd., 2016; Öven vd., 2017; Toptancı ve Erçoşkun, 2017; Yim vd., 2017; Öz vd., 2018; Wen vd., 2019; Armutcu vd., 2020; El Adab vd., 2020).

Tuz hücre yapısının bütünlüğünü bozarak doymamış yağ asitleri ile radikallerin reaksiyonunu kolaylaştırarak ya da Na⁺ iyonunun hem-proteinlerinden demiri serbest bırakması gibi nedenlerle prooksidan etki göstermektedir (Corral vd., 2013). Kuru fermente sosislerde tuzun azaltılması ve tuz ikamesi katkıların (KCl, CaCl₂) kullanımının araştırıldığı bir çalışmada, tuzun %50 oranında azaltılması lipid oksidasyonunun yoğunluğunu azaltan etki göstermiştir. Buna ek olarak ilave edilen CaCl₂ gıda matriksin iyonik gücünü artırarak, üretim ve depolama süresince lipid oksidasyonunu teşvik etmiştir (dos Santos vd., 2017). Kuru fermente sosisler ile yapılan bir başka çalışmada ise tuz seviyesinin (%2.5, 2, 1.5 ve 1) örneklerin oksidasyonu üzerine etkili olmadığı bildirilmiştir (Hu vd., 2020). Bu çalışmada oksidasyon üzerinde tuzun etkisinin görülmemesinin nedeni antioksidan özelliklere sahip starter kültürün kullanımı olarak belirtilmiştir.

Fermente balık ezmesine geleneksel olarak fermente edilmiş olan balıktan izole edilen fermentatif mikroorganizma suşlarının ilavesinin yağ asidi oksidasyonu üzerine etkilerinin incelendiği bir çalışmada; *Staphylococcus xylosus* 135 ve *Saccharomyces cerevisiae* 31, serbest yağ asitleri miktarında artışa neden olmuştur. Buna ek olarak, *Staphylococcus xylosus* 135 ilave edilen örneklerde serbest yağ asitlerinde en yüksek PUFA oksidasyonu gözlenmiş olup ardından en yüksek oksidasyon *Lactobacillus plantarum* 120 ve

Saccharomyces cerevisiae 31 suşlarında gözlenmiştir (Xu vd., 2019). Çin'e özgü kuru sosislerde, katalaz gibi antioksidan enzimlere sahip olan *Pediococcus pentosaceus*, *Lactobacillus curvatus* ve *Staphylococcus xylosus* karışımından oluşan starter kültür kullanımı ile lipid oksidasyonunun yavaşlatılabileceği bildirilmiştir (Chen vd., 2017). Bu çalışmaların aksine, starter kültür ilave edilmeden gerçekleştirilen 45 günlük fermentasyon sonucunda fermente sosislerde daha yüksek miktarda saptanan mayaların lipid peroksitleri oluşumunu engelleyerek lipid oksidasyonunu starter kültür ile üretilen örneklere kıyasla yavaşlatmıştır (Du vd., 2019).

Ozaki vd. (2020) tarafından gerçekleştirilen araştırmada fermente pişmiş sosislerde sodyum nitrit ikamesi olarak iki farklı kitosan oranı (%0.25 ve %0.5) ve turp tozu (%0.5) kullanımı değerlendirilmiştir. Formülasyondan nitritin çıkartılması ve kitosan oranının artırılması oksidasyonu teşvik edici etki göstermiştir. Oksidasyonun ilerlemesinde kitosanın deasetilasyon derecesi veya molekül ağırlığının etkili olduğunun düşünüldüğü belirtilmiştir. Bir başka çalışmada ise nitrit miktarı azaltılan kuru fermente sosislerde *Debaryomyces hansenii* kullanımı ile daha düşük TBARS değerleri tespit edilmiş olup, aroma profili olumlu etkilenmiştir (Perea-Sanz vd., 2020).

Yağı azaltılmış fermente sosislerde yağın yer elması tozu ile %25, 50 ve 100 oranlarında ikame edildiği bir çalışmada, depolama başlangıcında yağın %100 oranında ikame edildiği gruplarda oksidasyon en yüksek düzeyde bulunurken, depolama sonunda yağın azaltılması ve artan oranlarda yer elması tozu kullanımının daha düşük TBARS değerlerinin gözlenmesine neden olduğu görülmüştür (Özer, 2019).

Fermente et ürünlerinin fonksiyonel ürün olarak tasarlanmasının bir diğer yolu da yağ miktarı azaltılırken, sağlık üzerine olumlu etkileri bulunan katkıların formülasyona eklenmesidir. Bis-Souza vd. (2020) Salchichón formülasyonlarındaki yağı fruktooligosakkarit ve probiyotik kullanımı ile azaltma stratejisini uygulamış ve depolama

süresince en yüksek TBARS değerlerini kontrol gruplarında kaydetmişlerdir.

Farklı et çeşitleri ile üretilen fermente sosislerde etin yağ asidi kompozisyonunun farklılığı nedeniyle lipid oksidasyonu yoğunluğu farklılık göstermektedir (Settanni vd., 2020). Yüksek miktarda çoklu doymamış yağ asitleri içeriği nedeniyle tavşan etiyle üretilen fermente sosislerde TBARS değerleri domuz fermente sosislerinden daha yüksek bulunmuştur (Ignacio vd., 2019).

Fermente ürünlerde toksik bileşiklerin oluşumuna ve olumsuz duyuşal özelliklere yol açan lipid oksidasyonunu yavaşlatmak için meyve-sebze ekstraktları (Martinez vd., 2020), gül yaprağı polifenollerini (Zhang vd., 2017) ve antep fıstığı kabuk ekstraktı (Lashgari vd., 2020) kullanımları etkili bulunmuştur.

Kullanılan katkıları ve starter kültürlerin yanı sıra hammadde olarak kullanılan etin sağlandığı hayvanın yetiştirildiği iklim koşulları da oksidasyon üzerinde etkili olabilmektedir. Han vd. (2020) yaptıkları çalışmada farklı yüksekliklerde yetişen Tibet öküzlerinin etlerinden üretilen kurutulmuş et ürünlerinin lipoliz, lipid oksidasyonu ve lezzet profilinin incelendiği bir çalışmada yüksek rakımda yetiştirilen hayvanların etlerinin kullanıldığı örneklerde doymamış yağ asitleri ve TBARS miktarlarının düşük rakımda yetiştirilen hayvanların etlerinden üretilenlere oranla daha yüksek olduğunu tespit etmiştir. Heksanal, nonanal, 2-nonenal, 1-heksanol, 2-heptanon, 2-metil-3-oktanon ve 6-metil-5-heptan-2-on gibi uçucu bileşikler yüksek rakımda yetişen hayvanların etlerinden üretilen örneklerde duyuşal kabul edilebilirliği olumlu etkileyen bileşikler olarak kaydedilmiştir.

Lipidlerde meydana gelen değişiklikler et ürünlerinde ürüne özgü karaktere katkıda bulunmakla birlikte ransit tat, toksik bileşiklerin oluşumu, besin ve damlama kayıplarında artma gibi istenmeyen değişikliklere de neden olmaktadır (Amaral vd., 2018; Pereira ve Abreu, 2018).

Yağ Kaynaklarının Oksidasyon Üzerine Etkileri

Fermente et ürünlerinin yüksek miktarda doymuş yağları içermesi ve bu yağların sağlık üzerine olumsuz etkilerinin bilinmesi nedeniyle tüketicilerin sağlıklı et ürünleri taleplerindeki artış et endüstrisinin az yağlı, yağ asidi profili değiştirilmiş fonksiyonel katkıları içeren et ürünleri formülasyonlarının geliştirilmesi konusundaki motivasyonunu artırmaktadır (Karabıyıkoglu ve Serdaroglu, 2017).

Yağ asidi kompozisyonunun daha sağlıklı olacak şekilde modifiye edilmesi, formülasyondaki hayvansal yağ yerine doymamış yağ asitlerini yüksek oranda içeren bitkisel ve/veya hayvansal kaynaklı yağların kullanılmasıyla mümkün olabilmektedir. Çizelge 1’de fermente et ürünleri formülasyonlarında doymamış yağ asitlerini yüksek oranda içeren yağların kullanıldığı çalışmalar özetlenmiştir.

Çizelge 1’de görüldüğü gibi fermente et ürünleri formülasyonunda yer alan hayvansal yağın sıvı yağ ile doğrudan yer değiştirilmesi tekli ve çoklu doymamış yağ asitleri açısından daha sağlıklı bir ürün elde edilmesini sağlamıştır ancak doymamış yağ asitlerini yüksek oranda içeren sıvı yağların oksidasyona yatkınlıkları (Carneiro vd., 2013) nedeniyle ürünlerde bu yağların kullanımı istenmeyen lezzet gelişimi ve toksik bileşiklerin oluşmasına neden olabilmektedir. Bu olumsuzlukların üstesinden gelmek amacıyla fermente et ürünlerine ilave edilen sıvı yağların basit emülsiyonlar (O/W) halinde kullanımı bir önlem olarak görülmektedir. Bu amaçla gerçekleştirilen çalışmalarda ürünlerde doymamış yağ asitleri oranında artış ve kolesterol miktarında azalma sağlanmakla birlikte yağ oksidasyonunun arttığı gözlenmiş ayrıca eklenen sıvı yağın bir miktarının kılıf dışına sızarak görünüm kusurlarına neden olduğu saptanmıştır (Valencia vd., 2006).

Mevcut sorunların basit emülsiyonlar ile tam olarak çözülememesi, emülsiyon ve jel yapılarını bir arada bulunduran sistemler kullanılarak sıvı yağların formülasyonlara dahil edilmesi konusunda çalışmalar yürütülmesine yol açmıştır.

Bu amaçla son yıllarda sıvı yağların bir matris içerisine enkapsüle edildiği makro veya nano boyutlarda hazırlanan oleojel, jel emülsiyon veya çoklu emülsiyonlar, sağlıklı, yağı azaltılmış ve yüksek kalitede et ürünleri üretimi açısından büyük potansiyel taşımaktadır. Bu sistemlerden bir tanesi, jel ve katı benzeri özelliği bir arada gösteren, iki aşamada üretilen jel emülsiyon sistemleridir. İlk aşamada proteinler ve yağ ile emülsiyon üretimi gerçekleştirilmektedir (Serdaroğlu

vd., 2017a; Kavuşan vd., 2020). Bu basamağın ardından oluşturulacak jel emülsiyon tipine göre jelleştirici katkılar ve asitlendirme, ısı işlem gibi uygulamalar kullanılmaktadır. Sıcak jelleşme yöntemiyle emülsiyon hazırlamak amacıyla ısı işlem ile çeşitli polisakkaritler ve proteinler kullanılmakta, soğuk jelleşme yöntemiyle hazırlanan emülsiyonlarda ise jelleşme polisakkaritler, proteinler ve enzimler ile sağlanmaktadır (de Souza Paglarini vd., 2018).

Çizelge 1. Fermente et ürün formülasyonlarında hayvansal yağ yerine doymamış yağ asitlerini yüksek oranda içeren yağların kullanıldığı çalışmalar

Ürün	Yağ formülasyonu	Etki	Kaynakça
Fermente sosis	Hayvansal yağın %10, %15, %20 oranında soya protein izolatu ile ön emülsifiye edilmiş keten tohumu yağı veya kanola yağı ile yer değiştirilmesi	Kanola yağının eklenmesi içerdiği yüksek tokoferol oranı nedeniyle oksidasyon değerlerinin düşmesine neden olmuştur. n-6/n-3 oranı 11.30 değerinden keten tohumu ve kanola yağı için sırasıyla 1.95 ve 5.12 değerine düşmüştür.	(Pelser vd., 2007)
Sucuk	Hayvansal yağın %15-30-50 'sinin mısır yağı ile yer değiştirilmesi	Kolesterol ve doymuş yağ asidi oranlarında azalma görülmüştür.	(Yıldız-Turp vd., 2008)
Sucuk	Hayvansal yağa ilave olarak %2.5 ve %5 oranında fındık yağının eklenmesi	Fındık yağı miktarı arttıkça TBARS ve serbest yağ asitliği değerlerinde artış gözlenmiştir. Fındık yağı ilavesi ile tekli doymamış ve çoklu doymamış yağ asitleri içeriğinde artış gözlenmiştir.	(Ilıkkan vd., 2009)
Fermente sosis (Hollanda)	Soya protein izolatu ile ön emülsifiye edilmiş veya doğrudan eklenmiş (%15-30) ticari enkapsüle ve saf balık yağı ilavesi	Enkapsüle balık yağının ön emülsifiye edilerek %30 oranında eklendiği gruplarda n-6/n-3 oranının 0.92'ye düştüğü görülmüştür. En yüksek lipid oksidasyonu saf balık yağının eklendiği gruplarda görülmüştür.	(Josquin vd., 2012)
Sucuk	%10, 20 ve 30 oranlarında ceviz, fındık, aspir ve zeytin yağı ilavesi	Artan oranlarda sıvı yağ kullanımı ve depolama ile serbest yağ asitliği ve peroksit değerinde artış gözlenmiştir. Artan oranlarda sıvı yağ kullanımı ile doymamışlık oranı artmıştır. En yüksek çoklu doymamış yağ asitlerinin %30 ceviz yağı eklenen sucuklarda olduğu bildirilmiştir.	(Geçgel, 2016)

Sucuk	İnteresterifiye hurma çekirdeği yağının sığır et yağı ile %25, 50, 75 ve 100'ü oranında yer değiştirilmesi	İnteresterifiye hurma çekirdeği yağının eklenmesi stearik, oleik ve linoleik asit konsantrasyonlarında azalmaya, kaprilik, kaprik, laurik ve miristik asit konsantrasyonlarında artışa neden olmuştur. Sucuk hamurlarında TBARS değerleri eklenen yağdan etkilenmemiştir ancak depolama sonunda hurma çekirdeği yağı eklenmesi TBARS değerlerinin kontrol grubundan yüksek çıkmasına neden olmuştur	(Kılıç ve Özer, 2017)
Fermente sosis	Fındık yağının hayvansal yağ ile % 15, 30 ve 45 oranında yer değiştirilmesi	Yeniden formüle edilen sucukların yağ asidi kompozisyonu ve kolesterol değerleri iyileştirilebilmiştir ancak fındık yağı ilavesi ile örneklerde lipid oksidasyonu daha hızlı ilerlemiştir.	Saygi vd., 2018

Köfte ve sosis formülasyonlarında bitkisel yağlar ile hazırlanan jel emülsiyonların kullanıldığı çalışmaların sonuçları incelendiğinde oksidatif stabilitesi ve teknolojik kalitesi yüksek olan ürünlerin elde edilmesi mümkün olmaktadır (Poyato vd., 2015; Pintado vd., 2016; Serdaroglu vd., 2016; Serdaroglu vd., 2017a). Fermente et ürünlerinde bitkisel yağlarla hazırlanan jel emülsiyonlarının kullanımı konusunda sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (Alejandre vd., 2016; Glisic vd., 2019a; Glisic vd., 2019b; Öztürk-Kerimoğlu vd., 2019a; Pintado ve Cofrades, 2020). Fermente sosis formülasyonundaki hayvansal yağın sırasıyla %26.3, %32.8 ve %39.5'i karragenan ve keten tohumu yağıyla hazırlanan jel emülsiyon ile yer değiştirildiği bir çalışmada, ürünün toplam enerji değeri azalırken, çoklu doymamış yağ asidi kompozisyonunun gelişmesi sağlanmış, n-6/n-3 oranı ise 10.20'den 1.62'ye düşürülmüş ve oksidasyon reaksiyonlarının kontrol ile benzer sonuçlar gösterdiği saptanmıştır (Alejandre vd., 2016).

Öztürk-Kerimoğlu vd. (2019a) tarafından yapılan çalışmada fermente sosislerde hayvansal yağın sağlıklı bir yağ olan incir çekirdeği jel emülsiyonu ile %100 ikame edilmesi ile oksidasyona oldukça hassas olan incir çekirdeği yağı hayvansal yağa eşdeğer oranda korunmuştur ve böylelikle fermente sosislerin kimyasal ve duyuşsal kalitesinin jel emülsiyon kullanımı ile iyileştirebileceği sonucuna varılmıştır.

Probiyotikler ve çoklu doymamış yağ asitleri ile zenginleştirilmiş kuru fermente sosislerde inülin jeli ve inülin-keten tohumu yağı jel emülsiyonunun yağın azaltılması amacıyla kullanılmasıyla, fermente sosislerin duyuşsal özellikleri olumsuz etkilenmeden yağ asidi içeriği modifikasyonu sağlanmış, olgunlaştırmadan hemen sonra grupların TBARS değerleri arasında fark tespit edilmemiştir. Ancak 1 ay depolama sonunda keten tohumu yağı eklenen örneklerde lipid oksidasyonu diğer gruplara kıyasla daha hızlı ilerlemiştir (Glisic vd., 2019b).

İspanyol tipi kuru fermente et ürünü (fuet) formülasyonundaki hayvansal yağın azaltılması amacıyla, oleojel veya jel emülsiyon kullanımının kalite üzerine etkisi incelenmiştir. Her iki yağ azaltıcı stratejinin uygulandığı örneklerde ürün matriksinin mikrobiyolojik kalitesinde ve malonaldehit miktarları arasında önemli farklılıklar kaydedilmemiştir ancak mikrobiyolojik ve oksidatif özellikler açısından örneklerin %20 hayvansal yağ ile formüle edilen kontrol grubuna kıyasla daha iyi korunduğu bulunmuştur (Pintado ve Cofrades, 2020).

FERMENTE ET ÜRÜNLERİNDE PROTEİN OKSİDASYONU

Fermente et ürünlerinde çeşitli teknolojik özelliklere katkıda bulunan proteinler işlem koşulları, katalizör veya inhibitör gibi bileşenlerin varlığına bağlı olarak oksidasyona maruz kalmaktadır (Bhattacharya vd., 2016). Günümüze kadar fermente ürünlerde gelişen lipid

oksidasyonu detaylı bir şekilde araştırılmış olsa da fermente et ürünlerinde lipid oksidasyonu ürünlerinin tetiklediği protein oksidasyonu gelişimi özellikle son yıllarda incelenmeye başlamıştır. Reaktif oksijen (OH, H₂O₂ gibi) ile doğrudan veya oksidasyon sonucu oluşan sekonder ürünlerin reaksiyonu sonucu dolaylı olarak indüklenen, proteinlerin kovalent modifikasyonu protein oksidasyonu olarak bilinmektedir (Bastıoğlu vd., 2016; Hellwig, 2019). Protein oksidasyonu oluşum mekanizması lipid oksidasyonu reaksiyonuna benzemektedir. Başlangıç aşamasında hidroperoksitler, aldehitler gibi oksidasyon ürünleri, OH, O₂, ROO gibi reaktif oksijen ve azot türleri, demir ve bakır gibi metaller, amino asitlerden hidrojen atomunun ayrılmasına neden olmaktadır. Bu reaksiyonlar sonucunda protein radikali ve ayrılan hidrojen atomuna OH iyonu bağlanması sonucu su (H₂O) meydana gelmektedir. Oluşan protein radikali oksijen ile reaksiyona girerek protein peroksit radikallerinin (POO•) oluşumuna yol açmaktadır, protein peroksit radikalleri yapılarına hidrojen atomu alarak protein hidroperoksitlerini (POOH) ve yeni protein radikallerini (P•) meydana getirmektedirler. Hidroperoksitler kararsız bileşikler olmaları nedeniyle hızla alkoksi (PO•) ve hidroksi radikaline (HO•) parçalanmaktadır. Bu durum bazı amino asit kalıntılarının karbonil bileşiklerine dönüşmesi ile sonuçlanmaktadır (Ergezer vd., 2016).

Oksidasyon sonucu özellikle prolin, arjinin, lizin ve treonin amino asit kalıntılarında oluşan değişimler sonucunda karbonil içeriği artmaktadır (Hellwig, 2020). Oksidasyon ile disülfid bağlarının ve ditrozin köprülerinin oluşmasından kaynaklı sülfidril ve tirozin içeriğinde azalmalarda görülmektedir (Sun vd., 2011a; Zhang vd., 2017). Miyofibriler proteinlerin oksidasyona maruz kalması sonucu meydana gelen disülfid çapraz bağlanmaları, aktin ve myosin yapının güçlenmesine ve dolayısıyla önemli kalite karakteristikleri olan gevrekliğin ve su tutma kapasitesinin azalmasına neden olmaktadır (Zakrys-Waliwander vd., 2012; Bao ve Ertbjerg, 2019). Yapılan çalışmalarda proteinlerde oksidasyon reaksiyonları sonucunda oluşan değişiklikler; denatürasyon, proteinlerin doğal

dördüncül yapılarındaki kayıp, endojen ve eksojen enzimlerle gerçekleşen hidrolitik parçalanma reaksiyonlarının (proteoliz) sınırlanması olarak sıralanabilir (Bastıoğlu vd., 2016). Fermente et ürünlerinde fermantasyon süresini kısaltmak ve mikrobiyal güvenilirliği sağlamak amacıyla uygulanan ısı işlem porfrin halkasındaki hem formunda demiri hem olmayan forma dönüştürmekte ve böylelikle protein ve lipid oksidasyonu reaksiyonları için teşvik edici bir ortam oluşmaktadır (Traore vd., 2012). Proteinlerin ısı işlem ile uyarılması sonucu çapraz bağlı protein kümeleri oluşmaktadır (Visschers ve de Jongh, 2005). Fermente kurutulmuş bir ürün olan Çin sosislerinde (Cantonese) protein oksidasyonu ve proteinlerdeki değişiklikler incelendiğinde, fermantasyon, kurutma ve ısı işlemler sonucu proteinlerde oluşan oksidasyonun proteinlerin kümelenmesine ve ikincil yapılarının bozulmasına yol açmaktadır (Sun vd., 2011b). Proteolitik enzimlerin okside olması aktivitelerinde değişiklikler gözlenmesine ve proteoliz sonucunda oluşacak lezzetin etkilenmesine neden olmaktadır (Berardo vd., 2015). Oksidasyon gelişimi ile ürün kalitesinin olumsuz etkilenmesinin yanı sıra ürünün besleyici değerinde de kayıplar ortaya çıkmaktadır (Lund vd., 2011). Günümüze kadar et ürünlerinde protein oksidasyonu reaksiyonlarının tespitinde, DNPH metodu ile lipid oksidasyonu ürünleri ve amino grupları arasında gelişen reaksiyon sonucunda açığa çıkan protein karbonilleri belirlenmiştir (Fuentes vd., 2014; Soglia vd., 2016). Bu tespit metoduna ek olarak oksidasyon sırasında oluşan disülfid bağlarının etkisiyle azalan sülfidril içeriğinin de belirlenmesi protein oksidasyonunun ilerlemesinin izlenmesi açısından önem teşkil etmektedir (Zhao vd., 2019) ancak protein oksidasyonun detaylı olarak incelenmesi, spesifik protein oksidasyonu ürünleri olan α -aminoadipik semialdehitler (AAS) ve γ -glutamik semialdehidlerin (GGS) miktarının saptanması ile izlenebilmektedir (Öztürk-Kerimoğlu vd., 2019b). Bu doğrultuda Çizelge 2 incelendiğinde fermente et ürünlerinde sıcaklık, depolama, yağ miktarı, TBARS değerleri ve yüksek basınç uygulamasının protein oksidasyonu reaksiyonlarını tetikleyici etki gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 2. Fermente et ürünlerinde protein oksidasyonu konusunda yapılmış çalışmalar

Ürün	Parametre	Etki	Kaynakça
Kuru kürlenmiş et ürünü	Yüksek hidrostatik basınç uygulaması (600 MPa)	Yüksek basınç kullanımının protein oksidasyonunu arttırdığı gözlemlenmiştir.	(Fuentes vd., 2010)
Fermente sosis	%4, %10 ve %15 oranlarında hayvansal yağ veya bitkisel yağ kullanımı	En yüksek karbonil miktarı %4 hayvansal yağ içeren grupta, en yüksek AAS ve GGS miktarları %10 yağ içeren örneklerde gözlenmiştir. Bitkisel yağ içeren örneklerde AAS-GGS miktarı daha düşük olarak bulgulanmıştır.	(Fuentes vd., 2014)
Sucuk	Hayvansal yağ yerine zeytinyağı kullanımı (%15-30)	%30 oranında zeytinyağı kullanımı doymamış yağ asitlerinin fermantasyon sırasında parçalanması nedeniyle asitlik değerlerini yükseltmiştir. Isıl işlem ile karbonil içeriği artmıştır. En yüksek karbonil içeriği %30 zeytinyağı içeren gruplarda görülmüştür.	(Zungur vd., 2015)
Sucuk	Hayvansal yağ yerine zeytinyağı kullanımı (%15-30) 4 ay, 4°C depolama	Örneklerde başlangıçta AAS tespit edilmiş olup GGS oluşumu görülmemiştir. 4 aylık depolama süresince GGS oluşumunun AAS oluşumundan daha hızlı olduğu görülmüştür. Zeytinyağının kullanımı 4 aylık depolama sonunda AAS ve GGS içeriklerinde azalmaya neden olmuştur.	(Serdaroğlu vd., 2017b)
Sucuk	Hayvansal yağ yerine zeytinyağı kullanımı (%15-30)	Zeytinyağının yüksek konsantrasyonlarda kullanılması, fermantasyon ve olgunlaştırma aşamalarında, TBARS değerinde ve toplam karbonil içeriğinde artışa neden olmuştur.	(Öztürk vd., 2017)
Salchichón	Bira kalıntı ekstraktı (2000 mg/kg), kestane yaprağı ekstraktı (2000 mg/kg) ve fıstık kabuğu (2000 mg/kg) ekstraktlarının protein oksidasyonuna etkisi	Antioksidanların eklenmesiyle serbest yağ asidi artmakla birlikte hekzanal içeriği azalmıştır. Antioksidanların sisteme dahil edilmesiyle karbonil içeriğinde azalmalar görülmüştür.	(Munekata vd., 2017)
Bacon	Pişirme yöntemi (mikrodalga, kızartma) ve depolama süresi (2 ve 28 gün)	Kızartma işlemi daha yüksek TBARS değerine, mikrodalga pişirme yöntemi ise daha yüksek protein oksidasyonuna neden olmuştur. Protein karbonillerinin başka bileşikler ile reaksiyona girmesi nedeniyle, 28. günde protein oksidasyonu daha düşük bulunmuştur.	Soladoye vd., 2017
Fermente sosis	Hayvansal yağın incir çekirdeği yağı jel emülsiyonu ile ikame edilmesi	Fermentasyon ve olgunlaştırma sonrasında belirlenen protein oksidasyonu jel emülsiyon içeren örneklerde daha düşük bulunmuştur. Depolama süresince dalgalanmalar gözlenmekle birlikte 28 gün depolama	Öztürk-Kerimoğlu vd., 2019a

Isıl işlem görmüş sucuk	Formülasyonda zeytinyağı kullanımı (%15 ve 30)	sonunda örnekler arası farklılık gözlenmemiştir. Zeytinyağı kullanımı toplam karbonil içeriğini artırırken, a-aminoadipik semialdehit konsantrasyonunu düşürmüştür. Genel olarak, örneklerin pepsin, tripsin ve a-kimotripsin aktiviteleri birbirine benzer bulunmuştur.	Öztürk-Kerimoğlu vd., 2019b
Geleneksel kuru kürlenmiş sosis-Chorizo	Yüksek hidrostatik basınç (600 MPa, 8 dk., 16 °C) 4°C ve 18°C 120 gün depolama	120. günde 18°C'de depolanan örneklerin karbonil miktarları, 4°C'de depolanan örneklerden daha yüksek bulunmuştur. Yüksek basınçla muamele edilen 'chorizo' örnekleri kontrol gruplarından daha yüksek miktarda karbonil içermektedir.	Cava vd., 2020

Fermente ürünlerde sağlık üzerine olumsuz etkileri bulunan tuzun miktarının azaltılması ürün kalitesini olumsuz etkilemesi nedeni ile önemli bir problemidir. Sucuklarda tuzun azaltılması, proteinlerin oksidasyonunun incelenmesinde ilk belirteç olan triptofan oksidasyonu inhibe etmekle birlikte, proteoliz (tuzun katepsinler üzerindeki inhibe edici etkisinin azalması), protein karbonilasyonunu (artan proteoliz) ve AAS konsantrasyonunu (Cl⁻ iyonunun arjinin, histidin ve lizin kalıntıları ile iyon çifti oluşturması) artırmıştır (Lobo vd., 2016). Tuzun belirli oranlarda ikame edilmesi (KCl) sonucu potasyum iyonu, hücre geçirgenliği ve peptit geçişi artırmakta sonuç olarak proteoliz de artmaktadır. Ayrıca KCl hidrojen peroksit üretme yeteneğine sahip laktik asit bakterilerinin gelişimini destekleyerek protein oksidasyonu reaksiyonlarını güçlendirmektedir (Gan vd., 2019).

Fermente et ürünlerinde protein oksidasyonunun ilerlemesinin engellenmesinde önemli bir strateji de antioksidan özellikle mikroorganizmaların starter kültürler olarak kullanımıdır (Ge vd., 2018). *L. plantarum* NJAU-01'in fermente ürünlerde 10⁷ KOB/g ve 10⁹ KOB/g oranlarında kullanımı ile protein karbonil içeriği ve protein hidrofobikliği kontrol grubuna kıyasla önemli ölçüde azalmıştır. *L. plantarum* NJAU-01 fermentasyon süresince sülfidrilleri oksidasyona karşı koruma etkisi göstermiştir (Ge vd., 2019). Tek bir mikroorganizma yerine radikal temizleme aktivitesi ve antioksidan enzimlere sahip birden fazla mikroorganizmanın starter kültür olarak

kullanımı sonucunda protein oksidasyonu geciktirilmiş ve aynı zamanda lezzeti geliştirilmiş fermente et ürünleri tasarlamak mümkündür (Chen vd., 2017).

Formülasyona eklenen bazı katkı maddelerinin de protein oksidasyonunu tetikleyici etkileri bulunmaktadır. İndirgen bir katkı maddesi olarak kullanılan askorbik asit veya tuzları oksijen radikalleri oluşturulmasını destekleyen önemli bir pro-oksidan olarak görev alabilmektedir (Villaverde vd., 2014a; Smirnov, 2018), ancak Berardo vd. (2016) kuru fermente et ürünlerinde sodyum askorbatın protein oksidasyonu üzerine etkisini incelemek amacıyla yaptıkları çalışmada askorbik asidin tek başına herhangi bir pro-oksidan etki yapmadığını bildirmiştir ancak sodyum nitrit ile birlikte kombine kullanımı sonucunda askorbik asit nitrit tarafından proteinlere kovalent olarak bağlanabilme özelliğine sahip dehidroaskorbik aside çevrilmekte ve dolayısıyla protein karbonili oluşumu artmaktadır. Bununla birlikte askorbatların protein radikallerini onararak antioksidan etki gösterdiği de bildirilmiştir (Hellwig, 2019).

Feng vd. (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmada depolama sırasında ısıl işlem uygulanmış sosislerde, sodyum nitritin lizin kalıntılarının karbonilasyonunu önleyerek karbonil oluşumunun azaltılabileceğini ortaya konmuştur. Fermente sosislerde ise nitritin, reaktif oksijen ve azot türleri oluşturarak

oksidasyonu artırma etkisi nedeniyle, protein karbonili ve Schiff bazı oluşumunu teşvik ettiği görülmüştür (Villaverde vd., 2014b).

Et ürünlerinde polifenollerin antioksidan etki göstererek ürünlerde oksidasyonu yavaşlatabileceği bilinmektedir (Papuc vd., 2017; Li vd., 2020). Bununla birlikte in vitro çalışmalar polifenollerin Fe⁺³ varlığında süperoksit radikalini oluşturarak prooksidan etki de gösterebileceğini ortaya koymuştur (Eghbaliferiz ve Iranshani, 2016) ancak Xiang vd. (2019) fermente Çin sosislerinde (Cantonese) 1 g/kg dut polifenollerinin serbest radikalleri yakalama ya da rekabet etmeleri ile örneklerde daha düşük TBARS değeri, protein karbonili ve daha yüksek sülfidril içeriği bulmuştur. Fesleğen esansiyel yağı (0.75 mg/g) kullanımı İtalyan salami örneklerinde karbonil oluşumu üzerinde inhibe edici etki göstermiştir (Cichoski vd., 2011).

İspanyol chorizo örneklerinde sentetik nitratın biberiye ve turunç ekstraktları ve doğal nitrat kaynakları (ıspanak+kereviz, pazu+pancar ve marul+roka+tere) ile ikamesinin araştırıldığı bir çalışmada tiyol gruplarının biberiye de bulunan fenolik bileşiklerin oksidasyonu açığa çıkan kinonlar ile reaksiyona girmesi nedeniyle turunç ekstraktının, biberiye ekstraktından daha etkili olduğu bildirilmiştir. Ekstraktların ıspanak+kereviz ile kombine olarak kullanıldığında tiyol gruplarında kayıpların daha yüksek olduğu bildirilmiş, ancak diğer nitrat kaynakları ile ekstraktların kullanımında kontrol grubuna kıyasla daha düşük kayıplar kaydedilmiştir (Martínez-Zamora vd., 2020).

FERMENTE ET ÜRÜNLERİNDE PROTEİN OKSİDASYONU VE LİPİD OKSİDASYONU ARASINDAKİ İLİŞKİ

Lipidler ve proteinlerde meydana gelen oksidatif reaksiyonlar et ürünlerinin kalitesini ve raf ömrünü etkileyen en önemli değişikliklerdir (Domínguez vd., 2019). Lipid oksidasyonu ve protein oksidasyonu benzer mekanizmaya sahip reaksiyonlar olmakla birlikte lipid oksidasyonu, protein oksidasyonuna oranla daha hızlı ilerlemektedir (Smaoui vd., 2017).

Her ne kadar myofibriller proteinlerde bulunan kükürtlü bileşikler lipidlerin oksidasyonuna karşı antioksidan etki gösterse de oksidasyon ürünlerinin antioksidan kapasiteyi aşması durumunda okside lipidler veya oksidasyon sonucu oluşan ürünler protein oksidasyonu reaksiyonlarını teşvik edebilmektedirler (Ergezer vd., 2016). Okside lipidlerle proteinler arasındaki etkileşim üç şekilde olabilmektedir; proteinlerle kovalent olmayan bileşik oluşumu, radikal reaksiyona neden olan kovalent bağ oluşumu (Heş vd., 2017; Li vd., 2019) ve lipid oksidasyonu sonucu oluşan malonaldehitlerin karbonil gruplarının iki farklı lizin kalıntıları ile reaksiyonu protein çapraz bağlanmasına neden olmaktadır (Bao ve Ertbjerg, 2019).

Protein oksidasyonunun tespitinde kullanılan temel bileşiklerden karboniller, lipid oksidasyonu sonucu oluşan aldehit ve ketonların sistein, histidin ve lizin amino asitleri ile reaksiyonu sonucu oluşmaktadır (Stadtman vd., 2003). Lipid oksidasyonu sonucu oluşan bileşikler ile protein aminleri arasında gerçekleşen reaksiyonlar Schiff bazı oluşumuna neden olarak ürünün renk ve lezzeti üzerine de olumsuz etki göstermektedirler (Chelch vd., 2007).

Fermente et ürünlerinde TBARS değerleri ve protein oksidasyonu ürünleri arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalarda TBARS değerlerindeki artışa paralel olarak protein oksidasyonun da arttığı görülmüştür (Fuentes vd., 2014; Öztürk vd., 2017).

Isıl işlem görmüş sucuklarda zeytinyağı kullanımı ile birincil oksidasyon ürünleri artarken, ikincil oksidasyon ürünleri azalmıştır. Bu doğrultuda artan birincil oksidasyon reaksiyonu ile ilişkili olarak protein karbonilleri de artış göstermiştir. İkincil oksidasyon ürünleri ile doğru orantılı olarak protein oksidasyonunun spesifik ürünlerinde de azalma gözlenmiştir (Öztürk-Kerimoğlu vd., 2019b). Benzer şekilde geleneksel kuru kürlenmiş sosislerde yüksek hidrostatik basınç (600 MPa, 8 min, 16 °C) ve depolama sıcaklığı (4 °C ve 18 °C)'nın lipid ve protein oksidasyonu üzerine etkisinin incelendiği çalışmada 120 gün depolama sonunda hem lipid

hem protein oksidasyonu reaksiyonları yüksek basınç uygulanan ve 18 °C’ de depolanan örneklerde daha hızlı ilerlemiştir (Cava vd., 2020).

Farklı oksidasyon derecesine sahip yağlar kullanılarak Sichuan sosisi üretiminin olgunlaştırma aşamasında girdi olarak kullanılan yağların oksidasyon seviyesi arttıkça proteinlerin daha güçlü bir oksidasyona maruz kaldığı görülmüştür (Li vd., 2019). Formülasyonda aynı miktarda ve oksidasyon derecesinde yağ kullanılan Çin kuru sosisinde tuz oranının artırılması ile hem lipid hem de protein oksidasyonu hızlanmıştır, örneklerde lipoliz, lipid oksidasyonu ve protein oksidasyonu arasında ilişki tespit edilmiştir (Zhao vd., 2020).

İtalyan salami örneklerinde ultrases (de Lima Alves vd., 2018) ve vurgulu UV ışık (Rajkovic vd., 2017) uygulamalarının hem lipidlerde gerçekleşen hem de proteinlerde gerçekleşen oksidasyonu artırabilecekleri gözlenmiştir.

SONUÇ

Fermente et ürünlerinde işlem koşulları, kullanılan yağ tipi ve miktarı, kütleme katkılarına bağlı olarak lipidler ve proteinlerde oksidatif değişiklikler meydana gelmektedir. Lipid ve protein oksidasyonu ürünleri, kalite ve besleyici değerde olumsuz değişikliklere neden olmaktadır. Fermente et ürünlerinde lipid oksidasyonu çalışmaları günümüze dek sıklıkla gerçekleştirilmesine rağmen protein oksidasyonu ve lipid oksidasyonu ile protein oksidasyonu arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalar sınırlı sayıdadır. Buna ek olarak formülasyonundaki hayvansal yağın yerine doymamışlığı yüksek sıvı yağların kompleks emülsiyon sistemleri yoluyla ürüne işlenmesi sonucunda ürünün oksidatif kalitesinde meydana gelebilecek değişikliklerde yeterli düzeyde ortaya konmamıştır. Bu nedenle gelecekte yürütülecek olan çalışmalarla, et ürünlerinde protein oksidasyonu mekanizması ve protein oksidasyonu ile lipid oksidasyonu arasındaki ilişkinin tam olarak anlaşılabilmesi mümkün olabilecektir. Farklı ülkelerin fermente ürünlerinde de protein oksidasyonunun gelişiminin incelenmesi üzerine yapılmış kısıtlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda

İtalyan salami ve chorizo örneklerinde; fesleğen esansiyel yağı, nitrat-nitrite alternatifi olarak ekstraktlar ve doğal nitrat kaynağı katkılının kullanımları, ultrases ve vurgulu UV ışık uygulamalarının protein oksidasyonu üzerine etkileri incelenmiştir. Bu konudaki çalışmaların artırılması ürünlerde gelişen oksidasyonun aydınlatılması ve önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 116-O-506 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar, bu makale ile ilgili başka kişi veya kurumlar ile çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

YAZAR KATKILARI

Hülya Serpil Kavuşan, literatür çalışmalarının taraması, yazım ve düzenleme kısımlarında katkı sağlamıştır. Meltem Serdaroğlu, konu analizi, planlama, kaynak tarama, yazım, derleme ve düzenleme kısımlarında katkı sağlamıştır.

KAYNAKLAR

- Alejandre, M., Poyato, C., Ansorena, D., Astiasarán, I. (2016). Linseed oil gelled emulsion: A successful fat replacer in dry fermented sausages. *Meat Sci*, 121: 107-113, doi: 10.1016/j.meatsci.2016.05.010.
- Amaral, A.B., Silva, M.V.D., Lannes, S.C.D.S. (2018). Lipid oxidation in meat: mechanisms and protective factors—a review. *Food Sci Technol*, 38: 1-15, doi: 10.1590/fst.32518.
- Armutcu, Ü., Hazar, F.Y., Yılmaz Oral, Z. F., Kaban, G., Kaya, M. (2020). Effects of different internal temperature applications on quality properties of heat-treated sucuk during production. *J Food Process and Pres*, 44(6): e14455. doi: <https://doi.org/10.1111/jfpp.14455>.
- Bao, Y., Ertbjerg, P. (2019). Effects of protein oxidation on the texture and water-holding of meat: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 59(22): 3564-3578, doi: 10.1080/10408398.2018.1498444.

- Bastioğlu, A.Z., Serdaroğlu, M., Nacak, B. (2016). Et ve et ürünlerinde protein oksidasyonu. *Food Health*, 2(4): 171-183, doi: 10.3153/JFHS16018.
- Berardo, A., Claeys, E., Vossen, E., Leroy, F., De Smet, S. (2015). Protein oxidation affects proteolysis in a meat model system. *Meat Sci*, 106: 78-84, doi: 10.1016/j.meatsci.2015.04.002.
- Berardo, A., De Maere, H., Stavropoulou, D.A., Rysman, T., Leroy, F., De Smet, S. (2016). Effect of sodium ascorbate and sodium nitrite on protein and lipid oxidation in dry fermented sausages. *Meat Sci*, 121: 359-364, doi: 10.1016/j.meatsci.2016.07.003.
- Bhattacharya, D., Kandeepan, G., Vishnuraj, M.R. (2016). Protein Oxidation in Meat and Meat Products-A Review. *JMST*, 4(2): 44-52.
- Bis-Souza, C.V., Pateiro, M., Domínguez, R., Penna, A.L., Lorenzo, J.M., Barretto, A.C.S. (2020). Impact of fructooligosaccharides and probiotic strains on the quality parameters of low-fat Spanish Salchichón. *Meat Sci*, 159: 107936, doi: 10.1016/j.meatsci.2019.107936.
- Carneiro, H.C., Tonon, R.V., Grosso, C.R., Hubinger, M.D. (2013). Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials. *J Food Eng*, 115(4): 443-451, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2012.03.033.
- Cava, R., García-Parra, J., Ladero, L. (2020). Effect of high hydrostatic pressure processing and storage temperature on food safety, microbial counts, colour and oxidative changes of a traditional dry-cured sausage. *LWT-Food Sci Technol*, 128: 109462, doi: 10.1016/j.lwt.2020.109462.
- Chelh, I., Gatellier, P., Santé-Lhoutellier, V. (2007). Characterisation of fluorescent Schiff bases formed during oxidation of pig myofibrils. *Meat Sci*, 76(2): 210-215, doi: 10.1016/j.meatsci.2006.10.028.
- Chen, Q., Kong, B., Han, Q., Xia, X., Xu, L. (2017). The role of bacterial fermentation in lipolysis and lipid oxidation in Harbin dry sausages and its flavour development. *LWT- Food Sci Technol*, 77: 389-396, doi: 10.1016/j.lwt.2016.11.075.
- Cichoski, A.J., Cansian, R.L., Oliveira, D.D., Gaio, I., Saggirato, A.G. (2011). Lipid and protein oxidation in the internal part of Italian type salami containing basil essential oil (*Ocimum basilicum* L.). *Food Sci Technol*, 31(2): 436-442, doi: 10.1590/S0101-20612011000200024.
- Corral, S., Salvador, A., Flores, M. (2013). Salt reduction in slow fermented sausages affects the generation of aroma active compounds. *Meat Sci*, 93(3): 776-785, doi: 10.1016/j.meatsci.2012.11.040.
- de Lima Alves, L., da Silva, M.S., Flores, D.R.M., Athayde, D.R., Ruviaro, A.R., da Silva Brum, D., Batista, V.S.F., de Oliveira Mello, R., de Menezes, C.R., Campagnol, P.C.B., Wagner, R., Barin, J.S., Cichoski, A.J. (2018). Effect of ultrasound on the physicochemical and microbiological characteristics of Italian salami. *Food Res Int*, 106: 363-373, doi: 10.1016/j.foodres.2017.12.074.
- de Lima Alves, L., Donadel, J.Z., Athayde, D. R., da Silva, M.S., Klein, B., Fagundes, M.B., de Menezes, C.R., Barin, J.S., Campagnol, P.C.B., Wagner, R., Cichoski, A.J. (2020). Effect of ultrasound on proteolysis and the formation of volatile compounds in dry fermented sausages. *Ultrasonics Sonochem*, 67:105161, doi: 10.1016/j.ultsonch.2020.105161.
- de Souza Paglarini, C., de Figueiredo Furtado, G., Biachi, J.P., Vidal, V.A.S., Martini, S., Forte, M.B.S., Cunha, R.L., Pollonio, M.A.R. (2018). Functional emulsion gels with potential application in meat products. *J Food Eng*, 222: 29-37, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2017.10.026.
- 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, doi: 10.3390/antiox8100429.
- dos Santos Cruxen, C.E., Funck, G.D., Haubert, L., da Silva Dannenberg, G., de Lima Marques, J., Chaves, F.C., da Silva, W.P., Fiorentini, Â.M. (2019). Selection of native bacterial starter culture in the production of fermented meat sausages: Application potential, safety aspects, and

- emerging technologies. *Food Res Int*, 122: 371-382, doi: 10.1016/j.foodres.2019.04.018.
- dos Santos, B.A., Campagnol, P.C.B., Fagundes, M. B., Wagner, R., Pollonio, M.A.R. (2017). Adding blends of NaCl, KCl, and CaCl₂ to low-sodium dry fermented sausages: Effects on lipid oxidation on curing process and shelf life. *J Food Qual*, 2017: Article ID: 7085798, doi: /10.1155/2017/7085798.
- Du, S., Cheng, H., Ma, J.K., Li, Z. J., Wang, C. H., Wang, Y.L. (2019). Effect of starter culture on microbiological, physicochemical and nutrition quality of Xiangxi sausage. *J Food Sci Technol*, 56(2): 811-823, doi: 10.1007/s13197-018-3541-z.
- Eghbaliferiz, S., Iranshahi, M. (2016). Prooxidant activity of polyphenols, flavonoids, anthocyanins and carotenoids: updated review of mechanisms and catalyzing metals. *Phytotherapy Res*, 30(9): 1379-1391, doi: 10.1002/ptr.5643.
- El Adab, S., Wadda, W.B., Tekiki, A., Moussa, O. B., Boulares, M., Sadok, S., Hassouna, M. (2020). Effect of mixed starter cultures on biogenic amine formation during the ripening of tunisian dry fermented camel meat sausage. *Italian J Food Sci*, 32(2): 321-336, doi: 10.14674/IJFS-1733.
- Ergezer, H., Gökçe, R., Hozer, Ş., Akcan, T. (2016). Et ve ürünlerinde protein oksidasyonu: etki mekanizması, tespit yöntemleri ve etkileri. *Akademik Gıda*, 14(1): 54-60.
- Feng, X., Li, C., Jia, X., Guo, Y., Lei, N., Hackman, R.M., Chen, L., Zhou, G. (2016). Influence of sodium nitrite on protein oxidation and nitrosation of sausages subjected to processing and storage. *Meat Sci*, 116: 260-267, doi: 10.1016/j.meatsci.2016.01.017.
- Fonseca, S., Gómez, M., Domínguez, R., Lorenzo, J.M. (2015). Physicochemical and sensory properties of Celta dry-ripened “salchichón” as affected by fat content. *Grasas Aceites*, 66(1): 059, doi:10.3989/gya.0709142.
- Fuentes V., Ventanas J., Morcuende D., Estévez M., Ventanas S., (2010). Lipid and protein oxidation and sensory properties of vacuum-packaged dry-cured ham subjected to high hydrostatic pressure. *Meat Sci*, 85: 506-514, doi: 10.1016/j.meatsci.2010.02.024.
- Fuentes, V., Estévez, M., Ventanas, J., Ventanas, S. (2014). Impact of lipid content and composition on lipid oxidation and protein carbonylation in experimental fermented sausages. *Food Chem*, 147: 70-77, doi: 10.1016/j.foodchem.2013.09.100.
- Gallego, M., Mora, L., Escudero, E., Toldrá, F. (2018). Bioactive peptides and free amino acids profiles in different types of European dry-fermented sausages. *Int J Food Microbiol*, 276:71-78, doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2018.04.009.
- Gan, X., Li, H., Wang, Z., Emara, A. M., Zhang, D., He, Z. (2019). Does protein oxidation affect proteolysis in low sodium Chinese traditional bacon processing?. *Meat Sci*, 150: 14-22, doi: 10.1016/j.meatsci.2018.10.007.
- Ge, Q., Chen, S., Liu, R., Chen, L., Yang, B., Yu, H., Wu, M., Zhang, W., Zhou, G. (2019). Effects of *Lactobacillus plantarum* NJAU-01 on the protein oxidation of fermented sausage. *Food Chem*, 295: 361-367, doi: 10.1016/j.foodchem.2019.05.154.
- Ge, Q., Ge, P., Jiang, D., Du, N., Chen, J., Yuan, L., Yu, Hu., Xu, X., Zhang W., Zhou, G. (2018). A novel and simple cell-based electrochemical biosensor for evaluating the antioxidant capacity of *Lactobacillus plantarum* strains isolated from Chinese dry-cured ham. *Biosens Bioelectron*, 99: 555-563, doi: 10.1016/j.bios.2017.08.037.
- Geçgel, Ü. (2016). Soğuk pres yağlar ilave edilerek üretilen fermente sucukların fizikokimyasal özelliklerinin belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13(4): 1-11.
- Guyon, C., Meynier, A., de Lamballerie, M. (2016). Protein and lipid oxidation in meat: A review with emphasis on high-pressure treatments. *Trends Food Sci Technol*, 50: 131-143, doi: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.01.026.
- Glisic, M., Baltic, M., Glisic, M., Trbovic, D., Jokanovic, M., Parunovic, N., Dimitrijevic, M., Suvajdzic, B., Boskovic, M., Vasilev, D. (2019b). Inulin-based emulsion-filled gel as a fat replacer in prebiotic-and PUFA-enriched dry fermented

- sausages. *Int J Food Sci Technol*, 54(3): 787-797, doi: 10.1111/ijfs.13996.
- Glisic, M., Boskovic, M., Baltic, M. Z., Trbovic, D., Suvajdzic, B., Vasilev, D. (2019a). Fat replacement and PUFA enrichment challenges in fermented sausage production. In *IOP Conference Series: Earth Environ Sci*, 333(1): 012061.
- Gök, V. (2015). Effect of replacing beef fat with poppy seed oil on quality of Turkish sucuk. *Korean J Food Sci Anim Res*, 35(2): 240-247, doi: 10.5851/kosfa.2015.35.2.240.
- Han, G., Zhang, L., Li, Q., Wang, Y., Chen, Q., Kong, B. (2020). Impacts of different altitudes and natural drying times on lipolysis, lipid oxidation and flavour profile of traditional Tibetan yak jerky. *Meat Sci*, 162, 108030, doi: 10.1016/j.meatsci.2019.108030.
- Hellwig, M. (2019). The chemistry of protein oxidation in food. *Angew Chem Int Ed*, 58(47), 16742-16763, doi: 10.1002/anie.201814144.
- Hellwig, M. (2020). Analysis of Protein Oxidation in Food and Feed Products. *J Agric Food Chem*, doi: 10.1021/acs.jafc.0c00711.
- Heś, M. (2017). Protein-lipid interactions in different meat systems in the presence of natural antioxidants—a review. *Polish J Food Nutr Sci*, 67(1), 5-18.
- Hu, Y., Zhang, L., Zhang, H., Wang, Y., Chen, Q., Kong, B. (2020). Physicochemical properties and flavour profile of fermented dry sausages with a reduction of sodium chloride. *LWT- Food Sci Technol*, 124: 109061, doi: 10.1016/j.lwt.2020.109061.
- Huang, X., Ahn, D.U. (2019). Lipid oxidation and its implications to meat quality and human health. *Food Sci Biotechnol*, 28(5), 1275-1285 doi: 10.1007/s10068-019-00631-7.
- Ignacio, E.O., Santos, J.M.D., Santos, S.E.D.J., Souza, C.V.B., Barretto, A.C.D.S. (2019). Effect of the addition of rabbit meat on the technological and sensory properties of fermented sausage. *Food Sci Technol*, 40: 197-204, doi: 10.1590/fst.02019.
- Ikonić, P.M., Tasić, T.A., Petrović, L.S., Škaljac, S.B., Jokanović, M.R., Tomović, V.M., Šojić, V., Džinić, N.R., Torbica, A.M., Ikonić, B.B. (2014). Proteolysis in Serbian Traditional Dry Fermented Sausage Petrovská klobása as Influenced by Different Ripening Processes. *Int Scholarly Scientific Res Innov*, 8, 993-996.
- Ilikkan, H., Ercoşkun, H., Vural, H., Şahin, E. (2009). The Effect of Addition of Hazelnut Oil on Some Quality Characteristics of Turkish Fermented Sausage (Sucuk). *J Muscle Foods*, 20: 117-127, doi: 10.1111/j.1745-4573.2008.00137.x.
- Jacobsen, C., Let, M.B., Nielsen, N.S., Meyer, A.S. (2008). Antioxidant strategies for preventing oxidative flavour deterioration of foods enriched with n-3 polyunsaturated lipids: a comparative evaluation. *Trends Food Sci Technol*, 19(2): 76-93, doi: 10.1016/j.tifs.2007.08.001.
- Jimenez-Colmenero, F., Salcedo-Sandoval, L., Bou, R., Cofrades, S., Herrero, A.M., Ruiz-Capillas, C. (2015). Novel applications of oil-structuring methods as a strategy to improve the fat content of meat products. *Trends Food Sci Technol*, 44(2): 177-188, doi: 10.1016/j.tifs.2015.04.011.
- Jokanovic, M., Ikonc, P., Skaljic, S., Tasic, T., Tomovic, V., Sojic, B., Ivic, M., Petrovic, L., Dzinic, N. (2017). Proteolysis and texture profile of traditional dry-fermented sausage as affected by primary processing method. *Sci J Meat Technol*, 58(2017): 103-109.
- Josquin, N.M., Linssen, J.P., Houben, J.H. (2012). Quality characteristics of Dutch-style fermented sausages manufactured with partial replacement of pork back-fat with pure, pre-emulsified or encapsulated fish oil. *Meat Sci*, 90(1): 81-86, doi: 10.1016/j.meatsci.2011.06.001.
- Karabıyıkoglu, M., Serdaroğlu, M. (2017). Et Ürünleri Formülasyonlarında Emülsifiye Edilmiş Yağların Kullanımı. *Akademik Gıda*, 15: 95-102, doi:10.24323/akademik-gida.306079.
- Kavuşan, H.S., Serdaroğlu, M., Nacak, B., İpek, G. (2020). An Approach to Manufacture of Fresh Chicken Sausages Incorporated with Black Cumin and Flaxseed Oil in Water Gelled Emulsion. *Food*

- Sci Anim Resour*, 40(3): 426-443, doi: 10.5851/kosfa.2020.e23.
- Kazemi, S., Ngadi, M.O., Gariépy, C. (2011). Protein denaturation in pork longissimus muscle of different quality groups. *Food Bioproc Technol*, 4(1): 102-106, doi: 10.1007/s11947-009-0201-3.
- Kılıç, B., Özer, C.O. (2017). Effects of replacement of beef fat with interesterified palm kernel oil on the quality characteristics of Turkish dry-fermented sausage. *Meat Sci*, 131: 18-24, doi: 10.1016/j.meatsci.2017.04.020.
- Lashgari, S.S., Noorolahi, Z., Sahari, M.A., Ahmadi Gavlighi, H. (2020). Improvement of oxidative stability and textural properties of fermented sausage via addition of pistachio hull extract. *Food Sci Nutr*, 8: 2920-2928, doi: 10.1002/fsn3.1594.
- Li, B., Xu, Y., Li, J., Niu, S., Wang, C., Zhang, N., Yang, M., Zhou, K., Chen, S., He, L., Liu, S., Yin, S., Yang, Y. (2019). Effect of oxidized lipids stored under different temperatures on muscle protein oxidation in Sichuan-style sausages during ripening. *Meat Sci*, 147: 144-154, doi: 10.1016/j.meatsci.2018.09.008.
- Li, W., Zhang, X., He, Z., Chen, Y., Li, Z., Meng, T., Li, Y., Cao, Y. (2020). In vitro and in vivo antioxidant activity of eucalyptus leaf polyphenols extract and its effect on chicken meat quality and cecum microbiota. *Food Res Int*, 109302, doi: 10.1016/j.foodres.2020.109302.
- Lobo, F., Ventanas, S., Morcuende, D., Estévez, M. (2016). Underlying chemical mechanisms of the contradictory effects of NaCl reduction on the redox-state of meat proteins in fermented sausages. *LWT-Food Sci Technol*, 69: 110-116, doi: 10.1016/j.lwt.2016.01.047.
- Lorenzo, J.M., Gómez, M., Puriños, L., Fonseca, S. (2016). Effect of commercial starter cultures on volatile compound profile and sensory characteristics of dry-cured foal sausage. *J Sci Food Agric*, 96(4): 1194-1201, doi: 10.1002/jsfa.7203.
- Lund, M.N., Heinonen, M., Baron, C.P., Estevez, M. (2011). Protein oxidation in muscle foods: A review. *Mol Nutr Food Res*, 55(1): 83-95, doi: 10.1002/mnfr.201000453.
- Martínez, L., Jongberg, S., Ros, G., Skibsted, L. H., Nieto, G. (2020). Plant derived ingredients rich in nitrates or phenolics for protection of pork against protein oxidation. *Food Res Int*, 129: 108789, doi: 10.1016/j.foodres.2019.108789.
- Martínez-Zamora, L., Peñalver, R., Ros, G., Nieto, G. (2020). Substitution of synthetic nitrates and antioxidants by spices, fruits and vegetables in Clean label Spanish chorizo. *Food Res Int*, 109835, doi: 10.1016/j.foodres.2020.109835.
- Munekata P.E.S., Domínguez, R., Franco, D., Bermúdez, R., Trindade, M.A., Lorenzo, J.M., (2017) Effect of natural antioxidants in Spanish salchichón elaborated with encapsulated n-3 long chain fatty acids in konjacglucomannan matrix. *Meat Sci*, 124: 54-60, doi: /10.1016/j.meatsci.2016.11.002.
- Olivares, A., Navarro, J. L., Flores, M. (2011). Effect of fat content on aroma generation during processing of dry fermented sausages. *Meat Sci*, 87(3): 264-273, doi: 10.1016/j.meatsci.2010.10.021.
- Öven, D.C., Karakaya, M., Ünal, K., Babaoğlu, A.S. (2017). Determination of some physicochemical and textural properties of the sucuk with fat content in various rates. *Selcuk J Agri Food Sci*, 31(3): 94-100. doi: 10.15316/SJAFS.2017.40.
- Öz, E., Kabil, E., Kaban, G., Kaya, M. (2018). Effect of autochthonous *Pediococcus acidilactici* on volatile profile and some properties of heat-treated sucuk. *J Food Process and Preserve*, 42(9): e13752. doi: https://doi.org/10.1111/jfpp.13752.
- Ozaki, M.M., Munekata, P.E., de Souza Lopes, A., do Nascimento, M.D.S., Pateiro, M., Lorenzo, J.M., Pollonio, M.A.R. (2020). Using chitosan and radish powder to improve stability of fermented cooked sausages. *Meat Sci*, 108165, doi: 10.1016/j.meatsci.2020.108165.
- Özer, C.O. (2019). Utilization of jerusalem artichoke powder in production of low-fat and

- fat-free fermented sausage. *Italian J Food Sci*, 31(2): 301-310, doi: 10.14674/IJFS-1354.
- Özkal, S.G., Ercoşkun, H. (2016). Kinetic modeling of quality aspects of fermented sausage (Sucuk) during storage. *Kafkas Univ Vet Fak Derg*, 23: 195-200.
- Öztürk, B., Serdaroğlu, M., Nacak, B., Karabıyıkoglu, M. (2017). Oxidative properties of sucuk produced with olive oil during fermentation and ripening. 63rd International Congress of Meat Science and Technology, 13 - 18 Ağustos, Cork, Ireland, 144- 145p.
- Öztürk-Kerimoğlu, B., Kavusan, H. S., Mulazimoglu, Y., Aksehirli, B., Aygun, A., Serdaroglu, M. (2019a). A novel fat modification strategy in fermented sausages by incorporation of gelled emulsions with fig seed oil. In IOP Conference Series: *Earth and Environ Sci*, 333(1): 012090, doi: 10.1088/1755-1315/333/1/012090.
- Öztürk-Kerimoğlu, B., Nacak, B., Özyurt, V.H., Serdaroğlu, M. (2019b). Protein oxidation and in vitro digestibility of heat-treated fermented sausages: How do they change with the effect of lipid formulation during processing? *J Food Biochem*, 43(11): e13007, doi:10.1111/jfbc.13007.
- Papuc, C., Goran, G.V., Predescu, C.N., Nicorescu, V., Stefan, G. (2017). Plant polyphenols as antioxidant and antibacterial agents for shelf-life extension of meat and meat products: Classification, structures, sources, and action mechanisms. *Compr Rev Food Sci Food Safety*, 16(6): 1243-1268, doi: 10.1111/1541-4337.12298.
- Pelser, W.M., Linssen, J.P., Legger, A., Houben, J.H. (2007). Lipid oxidation in n- 3 fatty acid enriched Dutch style fermented sausages. *Meat Sci*, 75(1): 1-11, doi: 10.1016/j.meatsci.2006.06.007.
- Perea-Sanz, L., López-Díez, J. J., Belloch, C., Flores, M. (2020). Counteracting the effect of reducing nitrate/nitrite levels on dry fermented sausage aroma by *Debaryomyces hansenii* inoculation. *Meat Sci*, 108103, doi: 10.1016/j.meatsci.2020.108103.
- Pereira, A.L.F., Abreu, V.K.G. (2018). Lipid peroxidation in meat and meat products. In *lipid peroxidation. IntechOpen*, 1-14, doi: http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.81533.
- Pérez-Santaescolástica, C., Carballo, J., Fulladosa, E., Garcia-Perez, J. V., Bedito, J., Lorenzo, J. M. (2018). Effect of proteolysis index level on instrumental adhesiveness, free amino acids content and volatile compounds profile of dry-cured ham. *Food Res Int*, 107: 559-566, doi: 10.1016/j.foodres.2018.03.001.
- Pintado, T., Cofrades, S. (2020). Quality Characteristics of Healthy Dry Fermented Sausages Formulated with a Mixture of Olive and Chia Oil Structured in Oleogel or Emulsion Gel as Animal Fat Replacer. *Foods*, 9(6): 830-845, doi: 10.3390/foods9060830.
- Pintado, T., Herrero, A.M., Ruiz-Capillas, C., Triki, M., Carmona, P., Jiménez-Colmenero, F. (2016). Effects of emulsion gels containing bioactive compounds on sensorial, technological, and structural properties of frankfurters. *Food Sci Technol Int*, 22(2): 132-145, doi: 10.1177/1082013215577033.
- Poyato, C., Astiasarán, I., Barriuso, B., Ansorena, D. (2015). A new polyunsaturated gelled emulsion as replacer of pork back-fat in burger patties: Effect on lipid composition, oxidative stability and sensory acceptability. *LWT-Food Sci Technol*, 62(2): 1069-1075, doi: 10.1016/j.lwt.2015.02.004.
- Rajkovic, A., Tomasevic, I., De Meulenaer, B., Devlieghere, F. (2017). The effect of pulsed UV light on *Escherichia coli* O157: H7, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella Typhimurium*, *Staphylococcus aureus* and staphylococcal enterotoxin A on sliced fermented salami and its chemical quality. *Food Control*, 73: 829-837, doi: 10.1016/j.foodcont.2016.09.029.
- Saygi, D., Ercoşkun, H., Şahin, E. (2018). Hazelnut as functional food component and fat replacer in fermented sausage. *J Food Sci Technol*, 55(9): 3385-3390, doi: 10.1007/s13197-018-3129-7.
- Serdaroğlu, M., Nacak, B., Karabıyıkoglu, M. (2017a). Effects of beef fat replacement with

- gelled emulsion prepared with olive oil on quality parameters of chicken patties. *Korean J Food Sci Anim Resour*, 37: 376-384, doi: 10.5851/kosfa.2017.37.3.376.
- Serdaroglu, M., Nacak, B., Karabiyikoglu, M., Keser, G. (2016). Effects of partial beef fat replacement with gelled emulsion on functional and quality properties of model system meat emulsions. *Korean J Food Sci Anim Resour*, 36(6): 744-751, doi: 10.5851/kosfa.2016.36.6.744.
- Serdaroglu, M., Özyurt, H., Bastoglu, A. Z., Öztürk, B., Ötleş, S. (2017b). The effects of replacing beef fat with olive oil on protein oxidation products (α -amino adipic semialdehydes-AAS and γ -glutamic semialdehydes-GGS) in Turkish dried fermented sausage. 63rd International Congress of Meat Science and Technology, 13 -18 Ağustos, Cork, Ireland, 735 p.
- Settanni, L., Barbaccia, P., Bonanno, A., Ponte, M., Di Gerlando, R., Franciosi, E., Di Grigoli, A., Gaglio, R. (2020). Evolution of indigenous starter microorganisms and physicochemical parameters in spontaneously fermented beef, horse, wild boar and pork salamis produced under controlled conditions. *Food Microbiol*, 87: 103385, doi: 10.1016/j.fm.2019.103385.
- Smaoui, S., Ennouri, K., Chakchouk-Mtibaa, A., Karray-Rebai, I., Hmidi, M., Bouchaala, K., Mellouli, L. (2017). Relationships between textural modifications, lipid and protein oxidation and sensory attributes of refrigerated turkey meat sausage treated with bacteriocin BacTN635. *Food Bioproc Technol*, 10(9): 1655-1667, doi: 10.1007/s11947-017-1933-0.
- Smirnoff, N. (2018). Ascorbic acid metabolism and functions: A comparison of plants and mammals. *Free Radic Biol Med*, 122: 116-129, doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2018.03.033.
- Soglia, F., Petracci, M., Ertbjerg, P. (2016). Novel DNPH-based method for determination of protein carbonylation in muscle and meat. *Food Chem*, 197: 670-675, doi: 10.1016/j.foodchem.2015.11.038.
- Šojić, B., Tomović, V., Kocić-Tanackov, S., Škaljac, S., Ikonić, P., Džinić, N., Živković, N., Jokanović, M., Tasić, T., Kravić, S. (2015). Effect of nutmeg (*Myristica fragrans*) essential oil on the oxidative and microbial stability of cooked sausage during refrigerated storage. *Food Control*, 54, 282-286, doi: 10.1016/j.foodcont.2015.02.007.
- Soladoye, O.P., Shand, P., Dugan, M.E.R., Gariépy, C., Aalhus, J. L., Estévez, M., Juárez, M. (2017). Influence of cooking methods and storage time on lipid and protein oxidation and heterocyclic aromatic amines production in bacon. *Food Res Int*, 99: 660-669, doi: 10.1016/j.foodres.2017.06.029.
- Stadtman, E.R., Levine, R.L. (2003). Free radical-mediated oxidation of free amino acids and amino acid residues in proteins. *Amino acids*, 25(3-4): 207-218, doi: 10.1007/s00726-003-0011-2.
- Sun, W., Zhou, F., Zhao, M., Yang, B., Cui, C. (2011a). Physicochemical changes of myofibrillar proteins during processing of Cantonese sausage in relation to their aggregation behaviour and in vitro digestibility. *Food Chem*, 129(2): 472-478, doi: 10.1016/j.foodchem.2011.04.101.
- Sun, W., Cui, C., Zhao, M., Zhao, Q., Yang, B. (2011b). Effects of composition and oxidation of proteins on their solubility, aggregation and proteolytic susceptibility during processing of Cantonese sausage. *Food Chem*, 124(1): 336-341, doi: 10.1016/j.foodchem.2010.06.042.
- Toptanci, İ., Ercoşkun, H. (2017). Physicochemical and Microbiological Properties of Sucuk produced with Different Heat Treatment Temperatures. *Akademik Gıda*, 15(4): 344-34, doi: 10.24323/akademik-gida.370094.
- Traore, S., Aubry, L., Gatellier, P., Przybylski, W., Jaworska, D., Kajak-Siemaszko, K., Santé-Lhoutellier, V. (2012). Effect of heat treatment on protein oxidation in pig meat. *Meat Sci*, 91(1): 14-21, doi: 10.1016/j.meatsci.2011.11.037.
- Valencia, I., Ansorena, D., Astiasarán, I. (2006). Stability of linseed oil and antioxidants containing dry fermented sausages: A study of the lipid fraction during different storage conditions. *Meat*

- Sci*, 73(2): 269-277, doi: 10.1016/j.meatsci.2005.12.002.
- Van Ba, H., Seo, H.W., Kim, J.H., Cho, S. H., Kim, Y.S., Ham, J.S., Park, B.Y., Kim, H.W., Kim, T.B., Seong, P.N. (2016). The effects of starter culture types on the technological quality, lipid oxidation and biogenic amines in fermented sausages. *LWT-Food Sci Technol*, 74: 191-198, doi: 10.1016/j.lwt.2016.07.019.
- Villaverde, A., Parra, V., Estévez, M. (2014a). Oxidative and nitrosative stress induced in myofibrillar proteins by a hydroxyl-radical-generating system: Impact of nitrite and ascorbate. *J Agri Food Chem*, 62(10): 2158-2164, doi: 10.1021/jf405705t.
- Villaverde, A., Ventanas, J., Estévez, M. (2014b). Nitrite promotes protein carbonylation and Strecker aldehyde formation in experimental fermented sausages: Are both events connected?. *Meat Sci*, 98(4): 665-672, doi: 10.1016/j.meatsci.2014.06.017.
- Visschers, R.W., de Jongh, H.H. (2005). Disulphide bond formation in food protein aggregation and gelation. *Biotechnol Adv*, 23(1): 75-80, doi: 10.1016/j.biotechadv.2004.09.005.
- Wang, W., Xia, W., Gao, P., Xu, Y., Jiang, Q. (2017). Proteolysis during fermentation of Suanyu as a traditional fermented fish product of China. *Int J Food Prop*, 20(1): S166-S176, doi: 10.1080/10942912.2017.1293089.
- Wen, R., Hu, Y., Zhang, L., Wang, Y., Chen, Q., Kong, B. (2019). Effect of NaCl substitutes on lipid and protein oxidation and flavor development of Harbin dry sausage. *Meat Sci*, 156: 33-43, doi: 10.1016/j.meatsci.2019.05.011.
- Wójciak, K.M., Dolatowski, Z.J. (2012). Oxidative stability of fermented meat products. *Acta Sci Pol Technol Aliment*, 11(2): 99-109.
- Wójciak, K.M., Stasiak, D.M., Ferysiuk, K., Solska, E. (2019). The influence of sonication on the oxidative stability and nutritional value of organic dry-fermented beef. *Meat Sci*, 148: 113-119, doi: 10.1016/j.meatsci.2018.10.010.
- Xiang, R., Cheng, J., Zhu, M., Liu, X. (2019). Effect of mulberry (*Morus alba*) polyphenols as antioxidant on physicochemical properties, oxidation and bio-safety in Cantonese sausages. *LWT- Food Sci Technol*, 116: 108504, doi: 10.1016/j.lwt.2019.108504.
- Xiao, Y., Liu, Y., Chen, C., Xie, T., Li, P. (2020). Effect of *Lactobacillus plantarum* and *Staphylococcus xylosus* on flavour development and bacterial communities in Chinese dry fermented sausages. *Food Res Int*, 135: 109247. doi: 10.1016/j.foodres.2020.109247.
- Xu, Y., Li, L., Xia, W., Zang, J., Gao, P. (2019). The role of microbes in free fatty acids release and oxidation in fermented fish paste. *LWT- Food Sci Technol*, 101: 323-330, doi: 10.1016/j.lwt.2018.11.027.
- Yıldız-Turp, G., Serdaroğlu, M. (2008). Effect of replacing beef fat with hazelnut oil on quality characteristics of sucuk—A Turkish fermented sausage. *Meat Sci*, 78(4): 447-454, doi: 10.1016/j.meatsci.2007.07.013.
- Yim, D.G., Chung, Y.H., Nam, K.C. (2017). Effects of Starter Cultures on Physicochemical Properties of Fermented Sausages. *Korean J Food Nutr*, 30(5): 1105-1112, doi: 10.9799/ksfan.2017.30.5.1105.
- Zakrys-Waliwander, P.I., O'sullivan, M.G., O'neill, E.E., Kerry, J.P. (2012). The effects of high oxygen modified atmosphere packaging on protein oxidation of bovine *M. longissimus dorsi* muscle during chilled storage. *Food Chem*, 131(2): 527-532, doi: 10.1016/j.foodchem.2011.09.017.
- Zhang, S., Zhang, C., Qiao, Y., Xing, L., Kang, D., Khan, I.A., Huang, M., Zhou, G. (2017). Effect of Flavourzyme on proteolysis, antioxidant activity and sensory qualities of Cantonese bacon. *Food Chem*, 237: 779-785, doi: 10.1016/j.foodchem.2017.06.026.
- Zhao, B., Li, S., Zhou, H.M., Zhang, S.L., Wang, H., Wang, S.W. (2019). Effect of Protein Oxidation on Microbial, Free Amino Acids and Biogenic Amine Content in Chinese Dry Sausage. *Curr Top Nutraceutical Res*, 17(2): 188-195.

Zhao, B., Zhou, H.M., Zhang, S.L., Pan, X.Q., Li, S., Zhu, N., Wu, Q.R., Wang, S.W., Qiao, X.L. and Chen, W.H., (2020). Changes of protein oxidation, lipid oxidation and lipolysis in Chinese dry sausage with different sodium chloride curing salt content. *Food Sci Human Wellness*, In Press, doi: 10.1016/j.fshw.2020.04.013.

Zhou, C.Y., Wu, J.Q., Tang, C.B., Li, G., Dai, C., Bai, Y., Xu, X.L., Zhou, G.H., Cao, J.X. (2019). Comparing the proteomic profile of proteins and the sensory characteristics in Jinhua ham with

different processing procedures. *Food Control*, 106: 106694, doi: 10.1016/j.foodcont.2019.06.020.

Zungur, A., Serdaroğlu, M., Nacak, B., Öztürk, B. (2015). Effects of olive oil as partial replacer of animal fat in sucuk on oxidation and some quality properties during production. 61st International Congress of Meat Science and Technology, 23-28th August 2015, Clermont-Ferrand, France.