



**KURU OLGUNLAŖTIRILMIŖ SIĞIR ETLERİNDE
PROTEİN PROFİLİ VE PROTEİN OKSİDASYON
DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ**

Adem SAVAŖ

Doktora Tezi

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Prof. Dr. Fatih ÖZ

2024

Her hakkı saklıdır

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİLİĞİ ANA BİLİM DALI

KURU OLGUNLAŞTIRILMIŞ SIĞIR ETLERİNDE PROTEİN PROFİLİ VE PROTEİN
OKSİDASYON DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ

(The Determination of the Protein Profile and Protein Oxidation Level in Dry-Aged Beef)

DOKTORA TEZİ

Adem SAVAŞ

Danışman: Prof. Dr. Fatih ÖZ

Erzurum
Şubat, 2024

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü

TEZ KABUL VE ONAY TUTANAĞI

KURU OLGUNLAŞTIRILMIŞ SIĞIR ETLERİNDE PROTEİN PROFİLİ VE PROTEİN
OKSİDASYON DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ

Prof. Dr. Fatih ÖZ danışmanlığında, Adem SAVAŞ tarafından hazırlanan bu çalışma, 22/02/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Gıda Mühendisliği Bilim Dalı'nda Doktora tezi olarak **oybirliği / oy çokluğu (5/0)** ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof. Dr. Sadettin TURHAN <i>Ondokuz Mayıs Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Danışman:	Prof. Dr. Fatih ÖZ <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. İsmail YILMAZ <i>Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Doç. Dr. Haydar KILIÇ <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Doç. Dr. Şeyma Şişik OĞRAŞ <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır

Enstitü Yönetim
Kurulunun .../.../.... tarih
ve sayılı kararı.

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof.Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN

Enstitü Müdürü
Aslı Islak İmzalıdır

Bu çalışma bilimsel araştırma projeleri (BAP) kapsamında desteklenmiştir.
Proje No: FBA-2022-10215

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Doktora Tezi olarak *Prof. Dr. Fatih ÖZ* danışmanlığında sunulan “Kuru olgunlaştırılmış sığır etlerinde protein profili ve protein oksidasyon düzeyinin belirlenmesi” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	3	30
Kuramsal Temeller	3	30
Materyal ve Yöntem	15	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	9	20
Sonuçlar	6	20
Tezin Geneli	8	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Adem SAVAŞ	Prof. Dr. Fatih ÖZ
22.2.2024	22.2.2024
İmza: Aslı ıslak imzalıdır	İmza: Aslı ıslak imzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Doktora tezi olarak sunduğum bu çalışmanın planlanmasında, yürütülmesinde ve sonuçların değerlendirilmesinde desteklerini esirgemeyen ve bugünlere gelmemde en büyük katkı sahibi olan değerli danışman hocam Prof. Dr. Fatih ÖZ'e teşekkürü bir borç bilir saygılar sunarım.

Özellikle SDS-PAGE analizinin yapılması ve değerlendirilmesi ile ilgili desteklerinden dolayı hocam Doç. Dr. Emel ÖZ'e teşekkür ederim.

Doktora öğrenimim süresince ve tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan değerli eşim Burcunur DEMİR SAVAŞ'a ve sevgili oğlum Tuğrul Umut SAVAŞ'a, manevi desteklerini esirgemeyen validem Nurgül SAVAŞ'a, merhum babam Ekrem SAVAŞ'a, kardeşlerim Fatih, Ensar ve Ahmet'e sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Doktora öğrenimim süresince sağlamış olduğu maddi destekten dolayı 100/2000 YÖK Doktora Burs Programı'na ve

Tezimin yürütülmesi için madde destekte bulunan Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne ve Gıda Mühendisliği Bölümü'ne teşekkür ederim.

Adem SAVAŞ

ÖZET
DOKTORA TEZİ
KURU OLGUNLAŞTIRILMIŞ SIĞIR ETLERİNDE PROTEİN PROFİLİ VE
PROTEİN OKSİDASYON DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ

Adem SAVAŞ

Danışman: Prof. Dr. Fatih ÖZ

Amaç: Mevcut araştırmada, kuru olgunlaştırma işleminin (15 ve 30 gün), sığır etinin çeşitli kalite parametreleri (ağırlık ve tıraşlama kaybı, kurumadde, pH, renk, ham protein ve SDS-PAGE) ile protein oksidasyon ürünleri [toplam karbonil (DNPH), γ -glutamik semialdehit (GGS) ve α -aminoadipik semialdehit (AAS)] üzerine etkisi incelenmiştir.

Yöntem: Araştırmada, materyal olarak Erzurum Et ve Süt Kurumu'nda gerçekleştirilen kesim sonrası bir gün süreyle dinlendirilmiş erkek sığır karkaslarına ait *M. Longissimus thoracis et lumborum* kasları kullanılmıştır. Bir grup et parçası, kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulmayarak kontrol grubu olarak değerlendirilmiştir. Diğer iki parça ise belirli koşullar altında ($2\pm0,5$ °C, 75 ± 1 bağıl nem, $0,2\pm0,05$ m/s hava sirkülasyonu) kuru olgunlaştırma işlemine (15 ve 30 gün) tabi tutulmuştur. Araştırma üç tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir.

Bulgular: Kuru olgunlaştırma işleminin, örneklerin ağırlık ve tıraşlama kaybı, kurumadde, pH, ham protein ve L^* değeri üzerine çok önemli ($p<0,01$), a^* değeri, GGS, AAS ve toplam GGS ve AAS içerikleri üzerine önemli ($p<0,05$) etkisinin olduğu belirlenirken, b^* değeri, ΔE ve DNPH içeriği üzerine ise anlamlı bir etkisinin olmadığı ($p>0,05$) tespit edilmiştir. Kuru olgunlaştırma işlemi neticesinde, örneklerde en fazla $47,07\%$ ağırlık kaybı ve $23,06\%$ tıraşlama kaybı olduğu hesaplanmıştır. Olgunlaştırma işlemi etlerin pH değerlerinde artışa neden olmuştur. 15 gün kuru olgunlaştırılmış etlerin L^* değerleri hammaddeden farklı değilken ($p>0,05$), 30 gün süren kuru olgunlaştırma işlemi ise L^* değerinde anlamlı azalmaya neden olmuştur. Olgunlaştırma işlemi a^* değerinde hammaddeye kıyasla azalmaya neden olurken, olgunlaştırma süresinin a^* değerini etkilemediği belirlenmiştir. Örneklerin SDS-PAGE profilindeki farklılıkların, hammadde ile 30 gün kuru olgunlaştırılmış etler arasında daha belirgin olduğu değerlendirilmiştir. 30 gün kuru olgunlaştırılmış etlerde aktin protein bant yoğunluğunda belirgin bir azalma olduğu ve myofibriler protein fraksiyonunda 32 kDa ağırlığında yeni bir protein bandı ortaya çıktığı belirlenmiştir. Olgunlaştırma işleminin örneklerin DNPH içeriğinde anlamlı olmayan ($p>0,05$) bir artışa neden olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan, 30 gün kuru olgunlaştırılmış etlerin GGS, AAS ve toplam GGS ve AAS içeriklerinin, hammaddede belirlenen miktarlara kıyasla yüksek olduğu ($p<0,05$) belirlenmiştir. Örneklerin DNPH içeriklerinin 1,263 ile 2,620 nmol/mg protein, GGS içeriklerinin 0,006 ile 0,050 nmol/mg protein, AAS içeriklerinin 0,188 ile 0,785 nmol/mg protein, toplam GGS ve AAS içeriklerinin ise 0,194 ile 0,835 nmol/mg protein arasında değiştiği tespit edilmiştir. Belirlenen toplam GGS ve AAS içeriklerinin, toplam karbonil içeriklerinin $15,36\%$ ile $31,87\%$ 'sini oluşturduğu hesaplanmıştır.

Sonuç: Kuru olgunlaştırma işleminin, etlerin çeşitli kalite kriterlerini etkilediği, toplam karbonil içeriğini istatistiksel olarak önemli olmayan düzeyde artırdığı tespit edilmiştir. Öte yandan, GGS ve AAS bileşiklerinin olgunlaştırma süresince arttığı, ancak sadece hammadde ve 30 gün kuru olgunlaştırılmış etler arasında anlamlı bir farklılık olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, protein oksidasyonu açısından hammadde ile kıyaslama yapıldığında, 15 gün kuru olgunlaştırılmış etlerin anlamlı bir farklılığa sahip olmadığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kuru olgunlaştırma işlemi, et, SDS-PAGE, protein oksidasyonu, toplam karbonil içeriği, γ -glutamik semialdehit, α -aminoadipik semialdehit

Mart 2024, 86 sayfa

ABSTRACT

DOCTORAL DISSERTATION

Determination of the Protein Profile and Protein Oxidation Level in Dry-Aged Beef

Adem SAVAŞ

Supervisor: Prof. Dr. Fatih ÖZ

Purpose: In the present study, the effect of dry aging process (15 and 30 days) on various quality parameters (weight and trim loss, dry matter, pH, color, crude protein, and SDS-PAGE) and formation of protein oxidation products [total carbonyl (DNPH), γ -glutamic semialdehyde (GGS), and α -aminoadipic semialdehyde (AAS)] of beef was investigated.

Method: In this study, *M. Longissimus thoracis et lumborum* muscles obtained from male beef carcasses that were rested for one day after slaughtering in Erzurum Meat and Milk Institution were used as materials. One group was not subjected to dry ageing and evaluated as the control group. The other two pieces were subjected to dry ageing process (15 and 30 days) under certain conditions ($2\pm0,5$ °C, $75\pm1\%$ relative humidity, $0,2\pm0,05$ m/s air circulation speed). The research was carried out in three replicates.

Findings: It was determined that dry ageing had a very significant effect ($p<0,01$) on weight and trim loss, dry matter, pH, crude protein, L^* value of the samples and a significant effect ($p<0,05$) on a^* value, GGS, AAS, and total GGS and AAS contents, while it had no any effect ($p>0,05$) on b^* , ΔE value and DNPH. As a result of the process, the maximum weight and trim loss were calculated as 47,07% and 23,06%, respectively. The ageing process caused an increase in the pH values of the meats. While there was no statistical difference between the raw material and the meats dried aged during 15 days in terms of L^* values, dry ageing process applied during 30 days resulted in a significant decrease in L^* value. The ageing process caused a decrease in a^* value compared to the raw material, while the ageing time did not affect a^* value. It was seen that the differences in the SDS-PAGE profile of the samples were more evident between the raw material and 30-day dry-aged meats. There was a significant decrease in actin protein band density in 30-day dry-aged meat and a new protein band weighing 32 kDa appeared in the myofibrillar protein fraction. Dry ageing process caused in an unimportant increase in DNPH contents of the samples ($p>0,05$). However, the GGS, AAS, and total GGS and AAS contents of the meats subjected to dry ageing for 30 days were found to be significantly higher compared to those in the raw material. The total carbonyl contents of the samples ranged between 1,263 and 2,620 nmol/mg protein, GGS contents ranged between 0,006 and 0,050 nmol/mg protein, AAS contents ranged between 0,188 and 0,785 nmol/mg protein, and total GGS and AAS contents ranged between 0,194 and 0,835 nmol/mg protein. It was calculated that total GGS and AAS contents constituted between 15,36 and 31,87% of total carbonyl contents.

Results: It was seen that dry ageing process affected various quality criteria of the meats and increased the total carbonyl content at unimportant level. On the other hand, GGS and AAS compounds were found to increase during ageing, but there was a significant difference only between the raw material and the samples subjected to dry ageing for 30 days. As a result, when compared to the raw material, in terms of protein oxidation, it was determined that the meat subjected to dry ageing for 15 days did not have a significant difference.

Keywords: Dry ageing, meat, SDS-PAGE, protein oxidation, total carbonyl content, γ -glutamic semialdehyde, α -aminoadipic semialdehyde

March 2024, 86 Pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ	xi
GİRİŞ.....	1
Olgunlaştırma İşlemi	3
Oksidasyon ve Protein Oksidasyonu	7
Et Protein Oksidasyonlarının Türleri.....	13
Proteinlerin Fotooksidasyonu	13
Metal Katalizli Protein Oksidasyonu.....	14
Enzim Katalizli Protein Oksidasyonu	14
Protein Oksidasyonunu Etkileyen Faktörler.....	14
Protein Oksidasyon Ürünlerinin Sağlık Üzerine Etkileri	15
Protein Oksidasyonunun Gıda Kalitesine Etkileri.....	15
KURAMSAL TEMELLER.....	23
MATERYAL VE METOT	30
Materyal.....	30
Sığır eti	30
Kimyasallar.....	30
Metot.....	30
Kuru olgunlaştırma işlemi	30
Ağırlık kaybı ve tıraşlama kaybının belirlenmesi	32
Kurumadde analizi.....	32
pH analizi.....	32
Ham protein analizi	32
Renk analizi	32

Miyofibriler proteinlerin Sodyum Dodesil Sülfat Poliakrilamid Jel Elektroforez (SDS-PAGE) profil analizi.....	33
Toplam karbonil miktar (DNPH) analizi.....	33
Spesifik protein oksidasyon ürünlerinin analizi	34
İstatistiksel analiz	35
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	36
Etlerin Ağırlık ve Tıraşlama Kayıpları	36
Etlerin Kurumadde İçerikleri.....	38
Etlerin pH Değerleri	40
Etlerin Protein Miktarı.....	43
Etlerin Renk Değerleri.....	44
Miyofibriler Proteinlerde Gerçekleşen Değişimler (SDS-PAGE Profili)	48
Etlerin Toplam Karbonil İçerikleri	51
Etlerin Spesifik Protein Oksidasyon Ürünleri	54
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR.....	62
ÖZGEÇMİŞ.....	72

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin ağırlık ve tıraşlama kayıpları (%).....	36
Tablo 2. Farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin ağırlık ve tıraşlama kayıplarına ait varyans analiz sonuçları.....	37
Tablo 3. Farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin ağırlık ve tıraşlama kayıplarına ait ortalama sonuçların Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları	38
Tablo 4. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin kurumadde içerikleri (%).....	38
Tablo 5. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin kurumadde içeriklerine ait varyans analiz sonuçları	39
Tablo 6. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin kurumadde içeriklerine ait ortalama sonuçların Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları	40
Tablo 7. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin pH değerleri.....	41
Tablo 8. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin pH değerlerine ait varyans analiz sonuçları.....	41
Tablo 9. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin pH değerlerine ait ortalama sonuçların Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları	42
Tablo 10. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin protein miktarları (%)	43
Tablo 11. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin protein miktarlarına ait varyans analiz sonuçları	43
Tablo 12. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin protein miktarlarına ait ortalama sonuçların Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları.....	44
Tablo 13. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin L^* , a^* , b^* ve ΔE değerleri	45
Tablo 14. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin L^* , a^* , b^* ve ΔE değerlerine ait varyans analiz sonuçları	46

Tablo 15. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin L^* , a^* , b^* ve ΔE değerlerine ait ortalama sonuçların Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları	47
Tablo 16. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin toplam karbonil içerikleri (DNPH) (nmol/mg protein)	52
Tablo 17. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin toplam karbonil içeriklerine ait varyans analiz sonuçları	52
Tablo 18. Hammadde ve farklı sürelerde kuru olgunlaştırılan örneklerin toplam karbonil içeriklerine ait ortalama sonuçların (nmol/mg protein) Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları.....	52
Tablo 19. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin GGS ve AAS içerikleri (nmol/mg protein)	55
Tablo 20. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin GGS, AAS ve toplam GGS ve AAS içeriklerine ait varyans analiz sonuçları.....	55
Tablo 21. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin GGS, AAS ve toplam GGS ve AAS içeriklerine ait ortalama sonuçların (nmol/mg protein) Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları	56

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Protein oksidasyon reaksiyonları	10
Şekil 2. GGS ve AAS kimyasal formülleri	13
Şekil 3. Hammadde ve farklı sürelerde kuru olgunlaştırılmış etler.....	31
Şekil 4. GGS ve AAS standartlarına ait mix stok solüsyonu	34
Şekil 5. (a) Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulmuş etlerin miyofibriler proteinlerine ait SDS-PAGE elektroforetogramı (b) Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulmuş etlerin miyofibriler proteinlerinin optik yoğunluğu. M: Marker (200-14.4 kDa).....	50
Şekil 6. En yüksek GGS ve AAS içeriklerine sahip bazı örneklerle ait HPLC kromatogramları	56

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

%	: Yüzde
°C	: Santigrat Derece
kg	: Kilogram
FLD	: Floresans Dedektör
g	: Gram
mg	: Miligram
HPLC	: High Performance Liquid Chromatography
µg	: mikrogram
nmol	: Nanomol
rpm	: Dakikada Dönme Hızı
AAS	: α -aminoadipik semialdehit
GGS	: γ -glutamik semialdehit
s	: Saniye
SDS-PAGE	: Sodyum Dodesil Sülfat Poliakrilamid jel elektroforezi
mmol	: milimol

GİRİŞ

Et ve et ürünleri, beslenme açısından önemli hayvansal kaynaklı gıdalar arasında yer almaktadır. Bu gıda grubu, zengin ve kaliteli protein içeriklerinin yanı sıra vitaminler ve mineraller bakımından iyi bir kaynaktır. Ayrıca, protein içeriği bakımından zengin olan etin, karbonhidrat içeriğinin ise düşük olması; diyabet, obezite ve pek çok kanser türü ile ilişkisi olduğu tespit edilen glisemik indeksin düşük kalmasına da yardım etmektedir. Et, bu fonksiyonel özelliklerinden dolayı insan sağlığı üzerine birçok olumlu etkiye sahiptir (Biesalski 2005). Öte yandan, son zamanlarda yapılan çalışmalarda, özellikle işlenmiş et ürünlerinin çeşitli kanser türlerine yol açtığı kanıtlanmış, ayrıca et ve et ürünlerinin tüketimlerinden önce pişirme işlemine tabi tutulmasının çeşitli ısı işlem toksikantlarına neden olduğu da tespit edilmiştir (Öz *et al.* 2023).

Et kalitesi denilince, akla gelen ilk algı; etin hijyenik kalitesi olarak algılansa da aslında et kalitesi üzerine sadece mikrobiyolojik değil aynı zamanda çeşitli fiziksel, kimyasal, tekstürel ve duyuşal faktörler de etki etmektedir. Neticede, et ve et ürünlerinin kimyasal bileşimi ve kalitesi; hayvanın türüne, kas tipine ve uygulanan işlemlere (olgunlaştırma, depolama, işleme, pişirme vb.) bağlı olarak farklılık göstermektedir (Estevez 2011; Guyon *et al.* 2016; Liu *et al.* 2018). Ayrıca, et kalitesi (lezzet, su tutma kapasitesi, renk ve besin değeri) üzerine birçok iç ve dış faktörün etki ettiği de bilinmektedir (Koohmaraie and Geesink 2006; Kim *et al.* 2018).

Kasaplık hayvanın kesimini takiben ölüm sonrası dönemde, kaslarda çeşitli metabolik ve biyokimyasal reaksiyonlar ile fiziksel değişimler devam etmekte ve neticede kas dokusu, bir gıda olan ete dönüşmektedir. Kas kasılması (kontraksiyonu) ve rigor mortis (ölüm sertliği) olayları, kesimden sonraki dönemde kas dokusunda cereyan eden ve etin kalitesini doğrudan etkileyen iki önemli olay olarak dikkatleri üzerine çekmektedir. Kasın kasılması esnasında, ince filamentler, kalın filamentler arasına kaymakta ve myofibrillerin yapısal birimleri olan sarkomerler kısalmaktadır. Sonuçta, kas liflerinin ve tüm kasın kısalması durumu söz konusudur (Kaya 2024).

İskelet kasının kontraksiyonunda, 4 adet miyofibriler protein rol oynamaktadır. Bunlar; aktin, miyosin, tropomiyosin ve troponin proteinleridir. Aktin ve miyosin; major kontraktıl proteinler olup, miyofibrilin aktin ve miyosin filamentlerini oluştururlar. İnce (aktin) ve kalın (miyosin) filamentler arasında direkt olarak oluşan çapraz bağlar (köprüler),

kasın kasılması esnasında kontraktil gücü oluşturmaktadır. Aktin ve miyosin proteinlerinin aksine, tropomiyosin ve troponin proteinleri, regülatör proteinler olarak görev alırlar ve sarkoplazmada mevcut kalsiyum iyonlarının konsantrasyonuna bağlı olarak kasılma işleminin yürütülmesine yardımcı olurlar (Aberle *et al.* 2001).

Kasın istirahat halinin devamı için, kalsiyumun sarkoplazmik retikulumda kalması ve nispeten yüksek miktarda ATP'nin magnezyum iyonları ile bağlı olması (Mg-ATP kompleksi) gerekmektedir. Bu kompleks, aktin ve miyosin proteinlerinin interaksiyona girmesini (çapraz bağ oluşumunu) engellemektedir. Böylece, sarkoplazmadaki kalsiyum konsantrasyonu düşük (10^{-7} mol/l'den az) ve Mg-ATP konsantrasyonu yüksek olduğunda, aktin ve miyosin filamentleri arasında çapraz bağ oluşumu inhibe edilecektir. Bu nedenle, kasın kasılması için, serbest kalsiyum konsantrasyonunun artması (10 – 100 kat) gerekmektedir. Sinir uyarımı neticesinde, sarkoplazmik retikulumdan sarkoplazmaya kalsiyum iyonları transfer edilmekte ve transfer edilen kalsiyum iyonları troponin kompleksinin bir alt birimi olan troponin-C'ye bağlanmaktadır. Troponin-C, kalsiyum bağladığında, proteinin yapısı hafifçe değişmekte ve bu değişim troponin-T'de de bir değişime neden olmaktadır. Sonuçta görülen bu yapısal değişiklikler tropomiyosin ve troponin-I proteinlerinin hareketlerinde değişime neden olur ve aktin üzerinde miyosin bağlama kısmı açığa çıkar. Neticede, aktin ve miyosin filamentleri arasında çapraz bağlar oluşur. Bu çapraz bağlar, bir kontraktil güç oluşturur ve sarkomerin her bir yarısındaki aktin filamentlerini sarkomerin merkezine doğru çeker. Aktin ve miyosinin interaksiyona girmesi neticesinde oluşan protein kompleksi, aktomiyosin olarak adlandırılır. Kontraksiyon esnasında aktin ve miyosin filamentlerinin uzunluğu değişmez, ancak sarkomerin uzunluğunda kısalma görülür. Ayrıca kas kontraksiyonun tüm aşamalarında, A bandının genişliği de sabittir, ancak I bandı ve H zonunun genişlikleri değişmektedir (Aberle *et al.* 2001).

Kas kontraksiyonu, istirahat halindeki kas tarafından harcanan enerjiden daha fazla enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Bu enerji ise özellikle ATP'nin enzimatik parçalanması sonucu elde edilmektedir. ATP'yi ADP ve inorganik fosfata hidroliz işleminden sorumlu olan enzim miyosin-ATPaz olarak isimlendirilmektedir. İsminden de anlaşılacağı üzere, ATPaz aktivitesi miyosin molekülünün baş kısmında bulunmaktadır. Miyosin-ATPaz'ın ATP'yi parçalama aktivitesi kalsiyum tarafından teşvik edilmektedir (Aberle *et al.* 2001).

Öte yandan, parçalanmış ATP'nin yerini, kesimden sonraki ilk birkaç saat içinde, kreatin fosfattan ayrılan inorganik fosfat ile ADP'nin birleşmesi neticesinde üretilen yeni ATP molekülleri almaktadır. Bunun için gerekli olan enerji ise glikojenolizis yolu ile sağlanmaktadır. Dolayısıyla, kesimden sonraki ilk birkaç saat içerisinde, ATP seviyesi

neredeyse değişmemektedir. Ancak, kastaki sınırlı miktarda bulunan glikojenin tüklenmesi, kas dokuda yeni ATP sentezini devre dışı bırakmakta ve neticede ATP seviyesi düşmektedir. Kastaki ATP konsantrasyonunun 1 $\mu\text{mol/g}$ seviyesine düşmesi durumunda, kasta rigor mortis yani ölüm sertliği şekillenmeye başlamaktadır. Kastaki ATP'nin tamamen bitmesi durumunda ($<0,1 \mu\text{mol/g}$) ise aktin ve miyosin filamentleri arasında geri dönüşümü mümkün olmayan bir bağlanma olmakta (aktomiyosin kompleksi) ve rigor mortis tamamen şekillenmektedir. Kas elastikiyetinin kaybı olarak karakterize edilen rigor mortis oluştuğuunda, kas artık kısıalma özelliğini tamamen kaybetmiş olmakta ve en sert halindedir (Kaya 2024).

İskelet kasının gevşemesi, istirahat halinin belirli bir seviyeye kadar yeniden sağlanması ifade etmektedir. İstirahat halindeki kas çok az bir gerilim üretmektedir. Bu durum aktin ve miyosin filamentleri arasında bir çapraz bağ olmadığı anlamına gelmektedir. Kasın gevşemesi ancak kontraksiyon işleminin tersi bir durumun aktif hale gelmesi neticesinde gerçekteşebilmektedir. Bunun için sarkoplazmadaki hücre içi serbest kalsiyum konsantrasyonunun, istirahat halindeki orijinal seviyelerine dönmüş olması gerekmektedir. Hücre içerisinde kalsiyum transferi bir pompa yardımı ile gerçekteştirilmektedir. Bu pompa ATP'yi bir enerji kaynağı olarak kullanmakta ve sinir uyarısı bitene kadar terminal sisternalarda depo edilen kalsiyumu tekrar sarkoplazmik retikuluma geri göndermektedir (Aberle *et al.* 2001).

Rigordaki etin doğrudan tüketimi veya çeşitli et ürünlerinin üretiminde kullanımı, tüketicinin damak tadını karşılayamayabileceği gibi üretim esnasında çeşitli teknolojik problemlere de neden olabilecektir. Bu nedenle, kullanımdan önce etin rigor mortis aşamasından çıkmış olması yani post-rigor aşamasında bulunması arzu edilmektedir. Diğer bir deyişle, bu ölüm sertliğinin aşılması ve etin az da olsa yumuşamış olması gerekmektedir. Bu nedenle, postmortem olgunlaştırma işlemi, etin tüketim kalite kriterlerinin (tekstür, tat ve aroma) sağlanması ve hatta geliştirilmesi için gerekli ve sık uygulanan bir işlemdir (Terjung *et al.* 2021).

Olgunlaştırma İşlemi

Etin olgunlaştırılması, en genel anlamda, et tekstürünün oluşması/oluşturulması olarak ifade edilmektedir. Et tekstürü; pre-rigor, rigor ve post-rigor olmak üzere üç kısımda incelenmektedir. Pre-rigor aşamasında; et yavaş yavaş sertleşmeye başlamaktadır, ancak henüz en sert durumuna gelmemiştir. Rigor aşamasında; et en sert halini almıştır ve bu aşamada etin gevrekliği en düşük seviyededir. Post-rigor aşamasında ise; et yeniden gevreklik (yumuşama) kazanmaktadır. Etin rigordan sonra belli süre ve şartlarda bırakılarak

depolanması ve etin tekrar yumuşamaya başlaması etin olgunlaşması olarak tanımlanmaktadır (Kaya 2024).

Olgunlaşma sırasındaki etin gevrekleştirilme süresince CAF (kalsiyumla aktive olan faktör) veya CANP (kalsiyumla aktive olan nötral proteaz) olarak adlandırılan enzim ve lizozomal proteazların müşterek etkilerinin söz konusu olduğu bilinmektedir (Kaya 2024). CAF'nin miyosin ve aktin proteinleri üzerine herhangi bir etkisinin olmadığı, tropomiyosin proteininde belirli bir proteolize neden olduğu ve en fazla etkisinin ise troponin-T üzerine olduğu belirtilmektedir. Ayrıca CAF için optimum pH değerinin 7 – 7,5 olduğu ancak pH 5,5 – 5,9 değerlerinde de bu enzimin belirli bir aktivite gösterebildiği bilinmektedir (Kaya 2024).

Kesim sonrası yaşanan glikojenolizis neticesinde ette asit birikimi artmakta, lizozomlar parçalanmakta ve proteazlar serbest hale geçmektedir. Asidik proteazlar (katepsinler), asidik pH değerlerinde aktiftirler ve miyofibriller proteinler üzerinde etkili olmaktadır (Kaya 2024). Olgunlaşma sırasında miyofibrillerde, Z çizgilerinde ve I bantlarında kopmalar ve kırılmalar olmaktadır. Proteazların en etkili olduğu bölgelerin Z çizgileri ve I bantları olduğu belirtilmektedir.

Kesim sonrası solunum ve kan sirkülasyonunun durması ve hücrelere oksijen iletiminin kesilmesi durumunda; besin maddelerinin hücre içine transferi durmakta, sinir ve hormonal sistem ile ozmotik dengede bozulmalar görülmekte, vücudun korunma sistemi devre dışı kalmakta, bakteriyel faaliyet başlamakta, iyonik denge bozulmakta, oksidasyon-redüksiyon potansiyeli düşmekte, gen transkripsiyonu ve protein sentezi durmakta, glikolitik reaksiyonlar hızlanmakta, pH değeri düşmekte, ATP ve kreatin fosfat miktarı düşmekte, rigor mortis şekillenmekte, hidrolitik enzimler serbest hale gelmekte, glikolitik enzimler denatüre olmaya başlamakta, ette tekstürel değişimler başlamakta, su tutma kapasitesi ve renkte değişimler görülmekte, ATP ve kreatin fosfat parçalanma ürünleri birikmeye başlamakta, aroma oluşumu başlamakta ve neticede et gevrekleşmektedir (Kaya 2024).

Taze etin postmortem olgunlaştırılması, etin yeme kalitesini ve özellikle de aroma ile birlikte en önemli duyu kalite kriterlerinden biri olan gevrekliğini artırmaktadır (Zhang et al. 2022). Postmortem olgunlaştırma, karkasların (bütün) veya karkas parçalarının (yarım, çeyrek vb.) sıcaklık, bağıl nem ve hava sirkülasyonu gibi kontrollü depolama koşullarında tutulması ile gerçekleştirilmektedir. Proteoliz yoluyla arzu edilen gevreklik derecesine ulaşmak için, et parçalarının uygun depolama koşulları altında (sıcaklık, bağıl nem ve hava sirkülasyonu) genellikle 10 – 20 gün bekletilmesi gerekmektedir. Olgunlaştırma esnasında görülen proteoliz ve lipoliz reaksiyonları, aroması olmayan büyük molekülleri, daha küçük ama aromalı parçalara dönüştürmekte ve neticede ette var olan şekerler, lipitler, organik

asitler, vitaminler, şeker fosfatları ve nükleotide bağlı şekerlerde değişiklikler görülmektedir. Parçalanmış bu bileşikler ya kendilerine özgü tat ve aroma oluşturmakta ya da pişirme esnasında Maillard reaksiyonu, oksidasyon ve bunların etkileşimleri gibi karmaşık biyokimyasal reaksiyonları tetikleyen önemli aroma prekürsörleri haline getirmektedir (Zhang *et al.* 2022).

Postmortem olgunlaştırma; yaş ve kuru olgunlaştırma olmak üzere iki farklı teknik kullanarak uygulanmaktadır (Alvarez *et al.* 2021; Cheng *et al.* 2023). Et endüstrisinde, etin olgunlaştırılmasında yaygın olarak kullanılan yaş olgunlaştırma prosesi; buzdolabı koşulları altında vakum ambalajlar içerisinde anaerobik olgunlaştırma olarak tanımlanabilmektedir. Bu teknik, minimum işleme tekniği ve ihmal edilebilir ürün kaybı nedeniyle et endüstrisi tarafından en çok uygulanan olgunlaştırma tekniği olarak düşünülmektedir (Zhang *et al.* 2022). Yaş olgunlaştırma tekniği -1 ile +4 °C sıcaklıklarda vakum ambalaj veya olgunlaştırma torbalarının içine konulan etin muhafazası esnasında eti daha yumuşak ve sulu hale getirmek için endojen enzimlerin etkisine dayanmaktadır (Morzel *et al.* 2006; Cheng *et al.* 2023). Literatür verilerine göre, sığır eti genellikle en az 14 gün süre ile yaş olgunlaştırılmaktadır. Bu süre zarfında, sertlikte maksimum azalmanın sağlandığı ve daha uzun süre yağ olgunlaştırmanın etin gevrekliğine üzerine önemli bir etkisinin olmadığı belirtilmektedir (Alvarez *et al.* 2021). Günümüzde, bazı perakendecilerin belki de çeşitli pazarlama nedenlerinden ötürü 35 güne kadar yaş olgunlaştırma yapabildikleri belirtilmektedir (Alvarez *et al.* 2021).

Diğer bir olgunlaştırma tekniği olan kuru olgunlaştırma işlemi ise; genellikle et endüstrisi tarafından vakum ambalajlamanın kitlesel olarak benimsenmesinden önce geleneksel olarak kasaplar tarafından uygulanan bir teknik olarak ifade edilmektedir (Zhang *et al.* 2022). Kuru olgunlaştırma işlemi eski zamanlardan beri lüks restoranlar ve gurme pazarları için az sayıda et tedarikçisi tarafından kullanılmaya devam etmiştir (Zhang *et al.* 2022). Bu teknik, -1 ile +3 °C arasındaki sıcaklıklarda ve yaklaşık %75 bağıl nem ile ambalajlama olmadan haftalarca (genellikle en az 21-25 gün) hatta aylarca sabit bir hava akışında daha geleneksel olarak uygulanan bir olgunlaştırma işlemidir (Alvarez *et al.* 2023; Cheng *et al.* 2023). Yaş olgunlaştırmanın aksine, kuru olgunlaştırma esnasında ambalaj materyalinin olmaması, fireyi artıran yüzey dehidrasyonu ve artan su evaporasyonuna ve yüzey renk değişikliklerine neden olmaktadır. Oksidasyon reaksiyonları (lipit ve protein) ve mikrobiyal aktivite ile birlikte kas dehidrasyonunun kuru olgunlaştırılmış etin aromasının oluşunda önemli bir rol oynadığı belirlenmiştir (Alvarez *et al.* 2023). Kuru olgunlaştırma işlemi süresince etler hava akımına maruz kalmaktadır. Böylelikle etin yüzeyi kurumakta ve

et yüzeyinde özellikle maya ve küfler olmak üzere mikroorganizma içeren bir kabuk oluşmaktadır. Kuru olgunlaştırılmış etlerin yüzeyinden izole edilen maya ve küflerin proteolitik ve lipolitik aktiviteye sahip oldukları ve kuru olgunlaştırılmış etlerin miyofibrillerinin parçalanmasına neden olabilecekleri belirtilmektedir. Bu nedenle, kuru olgunlaştırılmış etlerin gevrekliği hem kastaki doğal endojen enzimlerin aktivitesi ve biyokimyasal reaksiyonlar hem de maya ve küflerin varlığına bağlanmaktadır (Oh *et al.* 2019; Kim *et al.* 2020; Mikami *et al.* 2021; Bischof *et al.* 2022; Alvarez *et al.* 2023).

İşleme parametrelerinin (sıcaklık, bağıl nem ve hava sirkülasyon hızı) daha sıkı kontrolleri, daha uzun üretim döngüsü, daha yüksek maliyet ve daha fazla ağırlık kaybı nedeniyle yaş olgunlaştırma işlemi, kuru olgunlaştırma işleminin yerini almıştır. Vakum ambalajlama teknolojisinin gelişmesi ile 1970’li yıllarda yaş olgunlaştırma işlemi en yaygın olarak kullanılan olgunlaştırma tekniği haline gelmiştir. Ancak bütün bu avantajlarına rağmen, yaş olgunlaştırmada kullanılan etlerin genellikle düşük değerli parça etler olması ve yaş olgunlaştırılmış etlerin daha güçlü metalik ve kanlı bir tat – aromaya sahip olduğu da bilinen bir gerçektir ve tüketici tercihini doğrudan olumsuz yönde etkilemektedir (Cheng *et al.* 2023; Leighton *et al.* 2023). Bu nedenle, son yıllarda, tüketicilerin talep ettiği damak tatlarının karşılanması için, küresel et pazarında alternatif bir satış fırsatı olarak geleneksel kuru olgunlaştırma tekniğinin yeniden önem kazandığı görülmektedir (Mikami *et al.* 2021; Zhang *et al.* 2022).

Kuru olgunlaştırma işlemi karkasın tamamının veya özel kısımlarının, üzerlerini kapatmadan veya ambalajlamadan kontrollü sıcaklık, bağıl nem ve hava sirkülasyonu altında belirli bir süre olgunlaştırılması olarak tanımlanmaktadır. Et yüzeyinin, olgunlaştırma ortamına maruz bırakılması, aerobik olgunlaşmanın, kuru olgunlaştırılmış etin benzersiz lezzet profilini yaratmasına olanak tanır. Bu durum, kuru olgunlaştırılmış et ürünlerinin birinci sınıf et ürünleri olarak kabul edilmesine ve yaş olgunlaştırılmış eş değer et ürünlerine kıyasla daha yüksek bir satış fiyatına neden olmaktadır. Öte yandan, kuru olgunlaştırma işlemi, dehidrasyondan kaynaklanan ağırlık kaybı, işlemden sonra muhakkak ihtiyaç duyulan tıraşlama atığı, azalan satılabilir verim, mikrobiyal bozulmadan kaynaklanan kontaminasyon riskinin artması ve eskiyen tesisler için ekstra gereksinimler gibi nedenlerden ötürü yaş olgunlaştırmaya kıyasla maliyetli bir işlemdir (Zhang *et al.* 2022). Son zamanlarda, kuru olgunlaştırma işleminin, belirtilen bu dezavantajlarının aşılmasına yönelik farklı uygulamalar ve geliştirmeler de yapılmaktadır. Öte yandan, genellikle, sadece yüksek seviyede marbling (mozaik görünüm, mermerleşme) değerine sahip kaliteli parça etlerin kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulduğu da belirtilmektedir (Alvarez *et al.* 2021).

Kuru olgunlaştırılmış etlerin yoğun ve farklı tadı, bazı tüketiciler için kabul edilebilir gelmese de kuru olgunlaştırılmış et ürünlerinin özü nedeniyle tüketicilerin bu aromaya alışması durumunda yaş olgunlaştırılmış etlere kıyasla tercih edilen bir seçenek haline gelmektedir. 3 – 4 haftayı aşan uzun süreli kuru olgunlaştırma işlemi ile etlerin lezzet profili daha da yoğun hale gelmektedir. Bu nedenle, kuru olgunlaştırma işleminin yaş olgunlaştırma işlemine kıyasla en önemli avantajı; karakteristik kuru olgunlaştırma aromasının geliştirilmesi ve bu lezzetin (tat – aroma) pazarda sağladığı ayrıcalıktır (Zhang *et al.* 2022).

Kuru olgunlaştırılmış etler genellikle etsi, tereyağımsı, cevizimsi veya kavrulmuş olarak tanımlanabilen benzersiz tat ve aroma ile karakterize edilmektedir (Dashdorj *et al.* 2016; Alvarez *et al.* 2023). Bu tat ve aroma, olgunlaştırma esnasında, aroma bileşiklerinin (tat ile ilgili bileşikler ve aroma maddeleri) arasındaki reaksiyonlar neticesinde gelişmektedir. Tat ile ilgili bileşikler inosin monofosfat, indirgen şekerler ve serbest amino asitleri içerirken, uçucu aroma maddeleri ise genellikle trigliseritler, fosfolipitler ve serbest yağ asitleri gibi lipidlerin oksidasyonu ve/veya indirgen şekerler ile serbest amino asitler arasındaki Maillard reaksiyonundan oluşmaktadır. Kuru olgunlaştırma esnasında nem buharlaştıkça aroma bileşikleri daha da yoğun hale gelmektedir (Mikami *et al.* 2021; Bischof *et al.* 2022).

Oksidasyon ve Protein Oksidasyonu

Etin olgunlaştırılması esnasında görülen kimyasal reaksiyonlardan biri de oksidasyondur. Oksidasyon, gıda ürünlerinin işlenmesi ve depolanması esnasında gıdaların kalitesinin bozulmasına neden olan ana nedenlerden biridir (Estevez and Luna 2017). Günümüze kadar, gıdalarda lipid oksidasyonu üzerine birçok araştırma yapılmış, fakat gıdalarda, özellikle de taze et ve et ürünlerinde protein oksidasyonunun etkisi ve mekanizması ise nispeten az çalışılmıştır. Proteinlerin oksidasyonu, farklı oksidasyon ürünlerinin oluşumu ile sonuçlanmaktadır. Proteinlerde görülen ve tiyol oksidasyonu, aromatik hidrolizasyon ve karbonil grupların oluşumunu içeren asıl oksidatif değişiklikler, aminoasitlerin yan zincirlerinde oluşmaktadır (Zhang *et al.* 2013). Bazı aminoasitlerin, proteinlerin ve kasların, diğerlerine göre serbest radikal oluşumuna daha duyarlı olduğu belirtilmektedir (Dominguez *et al.* 2022). Yan zincire sahip aminoasitler arasında sistein ve metiyonin amino asitlerinin, reaktif kükürt atomları içermeleri nedeniyle oksidasyona daha hassas oldukları bilinmektedir (Zhang *et al.* 2013; Papuc *et al.* 2017). Kükürt anyonu, en güçlü nükleofil olup kolayca uzaklaştırılabilen elektronlar açısından zengindir. Reaktif oksijen türleri (ROS); serbest radikaller ($\cdot\text{OH}$, $\text{O}_2\cdot^-$, $\text{RS}\cdot$, $\text{ROO}\cdot$), radikal olmayan türler (H_2O_2 , ROOH) ve reaktif aldehit ve ketonları içermektedir. Oksidanlar, proteinin omurgasına doğrudan etki ederek proteinlerin sekonder ve tersiyer yapılarında yapısal değişikliklere ve parçalanmaya neden olabilirler.

Oksidasyonun neden olduğu disülfid, ditirozin ve diğerk moleküller arası köprüler, protein agregasyonuna ve proteolitik özellikleri değıştiren polimerizasyona neden olabilmektedir. Bu değışiklikler, proteinlerin çözünürlük, hidrofobiklik, su tutma kapasitesi, gevreklik ve jelleşme fonksiyonları gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkileyebilmektedir. Ayrıca, protein oksidasyonuna bağılı olarak görülen değışiklikler, aminoasit kalıntılarının biyoyararlanımını azaltabilir ve proteinlerinin sindirilebilirliğini değıştirebilir ki bu durum da et proteinlerinin beslenme değeri olumsuz yönde etkilemektedir (Zhang *et al.* 2013). Hayvanın türü, orijini, kas tipi ve ürünün kompozisyonu gibi iç faktörler ve işleme koşulları, ambalajlama koşulları ve ürünün hazırlama teknikleri gibi harici faktörlerin, gıdalarda protein oksidasyonunu etkileyen faktörler arasında yer aldığı belirtilmektedir (Dominguez *et al.* 2022).

Aminoasitlerin yan zincirlerinin oksidasyonu, kükürt bileşikleri (örneğin metiyoninden metiyonin sülfoksit), aromatik türler (örneğin triptofondan kinureninler) ve karboksilik asitler (örneğin lisinden alfa-aminoadipik asit) dahil olmak üzere doğadaki çeşitli türevlerin oluşumuna yol açmaktadır. Gıdalardaki bu kimyasal değışiklikler, proteinlerin işlevselliğini ve sindirilebilirliğini etkileyerek gıdanın protein kalitesinde ve besin değeri çeşitli kayıplara neden olmaktadır (Estevez *et al.* 2021).

Ette görülen protein oksidasyonunun, protein çapraz bağlama, aminoasit yan zincirlerinin modifikasyonu ve/veya protein fragmentasyonu ile sonuçlanabilen protein radikallerinin oluşması durumunda meydana geldiğı ve genellikle protein oksidasyonunun, oksijenin bir katalizör olarak görev aldığı lipid oksidasyonu ve enzimatik reaksiyonların gıdalarda meydana gelen diğerk oksidatif reaksiyonlar ile ilişkili olduğı düşünülmektedir (Dominguez *et al.* 2022). Bununla birlikte, protein oksidasyonu, genellikle daha az dikkat çekmektedir. Çünkü protein oksidasyonunun oluşum yolları daha komplekstir, oksidasyon ürünlerinin çeşitliliğı daha fazladır ve protein oksidasyonunun sonuç etkileri tüketiciler tarafından daha az fark edilebilmektedir (Dominguez *et al.* 2022).

Yaklaşık otuz yıl öncesine kadar, gıda proteinlerinin, reaktif oksijen türlerinin kaynağı ve hedefi olduğı, çoğunlukla ihmal edilmiştir. Ancak et proteinlerinin oksidatif reaksiyonlara hassas olduğunun keşfedilmesi ve bu durumun etin kalitesini olumsuz yönde etkileyip aynı zamanda çeşitli sağlık problemlerine neden olabileceğinin belirlenmesi de protein oksidasyonu konusuna olan ilgiyi artırmıştır. Protein oksidasyonu, karmaşık bir reaksiyondur, çünkü ürünlerin oluşum yolları ve doğası, hedeflere ve oksidatif reaksiyonların nasıl başladığına bağılı olarak değışkenlik göstermektedir (Estevez 2011).

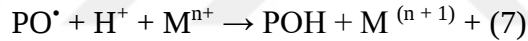
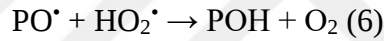
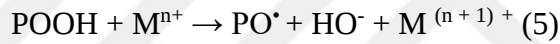
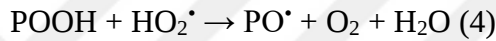
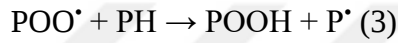
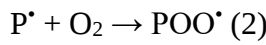
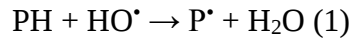
Proteinlerin kovalent modifikasyonuna neden olan bir reaksiyon olarak tanımlanan protein oksidasyonu, proteinlerin yapısında yer alan aminoasit yan zincirlerinin modifikasyonu, protein omurgasının ayrılması ve protein çapraz bağlaması gibi geri dönüşümsüz hasarlara neden olabilmekte ve neticede bu hasarlar etin duyuşsal kalitesinde, işleme özelliklerinde ve besin değeriinde arzu edilmeyen değışimlere yol açabilmektedir. Gıdalarda bulunan proteinler çoğunlukla, reaktif oksijen ve nitrojen türlerinin direkt etkisi veya şekerler ile lipidlerden oluşan oksidatif yan ürünlerin neden olduğu indirekt indüksiyon yoluyla okside olabilmektedir (Dominguez *et al.* 2022).

Ette protein oksidasyonun gerçekleşmesinde yer alan mekanizmaların, lipidlerin oksidatif bozulmasındaki reaksiyonlardan bazı farklılıklarının olduğu belirtilmektedir (Silva *et al.* 2018). Aslında protein karbonilasyonunun, lipidler ve moleküler oksijenin yokluğunda bile gerekleşebildiğı bilinmektedir (Estevez 2011; Silva *et al.* 2018). Etteki protein oksidasyonu esnasında reaktif oksijen türleri (ROS), amino asitlerin yan zincirlerine ve peptit omurgasına saldırabilir ve neticede karbonil bileşiklerin oluşumuna, esansiyel amino asitlerin kaybına, su tutma kapasitesi ve protein çözünürlüğünde azalmaya ve renk ile tekstürde degradasyona neden olmaktadır (Estevez 2011; Silva *et al.* 2018).

Lipid oksidasyonunda olduğu gibi, protein oksidasyonunda da reaksiyon, serbest radikal oluşumu ile başlamakta, takiben hidroperoksitlerin oluşumu ve radikallerin çoğalması ve transferlerinin gerçekleştiğı yayılma aşamasına geçmekte, ardından ise reaktif olmayan türlerin oluşumu olarak özetlenen son aşama ile tamamlanmaktadır (Stadtman 1990; Domínguez *et al.* 2019; Hellwig 2019; Dominguez *et al.* 2022). Oksijen, triplet oksijen formunda bulunmakta ve protein molekülleri ile kendiliğinden reaksiyona girememektedir (Hellwig 2019). Bu nedenle, protein oksidasyonunun gerçekleşmesi için muhakkak surette reaktif oksijen türleri (ROS) ve reaktif nitrojen türleri gibi reaktif ara maddelere ihtiyaç duyulmaktadır (Dominguez *et al.* 2022).

Süperoksit ($O_2^{\cdot-}$), hidroperoksil ($HO_2^{\cdot}$) ve hidroksil ($HO^{\cdot}$) radikalleri gibi farklı reaktif oksijen türleri ile hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroperoksitler ($ROOH$) gibi reaktif olmayan diğer türler, protein oksidasyonunun potansiyel başlatıcıları olarak kabul edilmektedir (Estevez 2011). Doymamış lipidler, hem pigmentleri, geçiş metalleri ve oksidatif enzimler gibi kas dokusunun doğal bileşenleri, reaktif oksijen türlerin oluşumu için potansiyel prekürsörleri veya katalizörleridir. Bu nedenle, kas protein oksidasyonunun başlangıcında önemli rol oynamaktadırlar. Amino asit kalıntılarının yan zincirine yerleşmiş fonksiyonel gruplar ve peptit omurgası, reaktif oksijen türleri için yaygın hedefler arasında yer almaktadır. Duyarlı bir hedeften (PH) bir hidrojen atomunun çıkarılmasının doğrudan bir sonucu olarak karbon

merkezli bir protein (P[•]) radikali oluşmaktadır (Reaksiyon 1). Başlangıçtaki karbon merkezli protein radikali (P[•]), oksijen varlığında sırasıyla bir peroksil radikaline (POO[•]) ve başka bir duyarlı molekülden bir hidrojen atomunun çıkarılmasıyla bir alkilperoksite (POOH) dönüşmektedir (Reaksiyon 2 ve 3). İlerleyen aşamalarda, oluşan bu alkilperoksit (POOH), hidroperoksil (HO₂[•]) radikali gibi reaktif oksijen türleri ile veya Fe⁺² veya Cu⁺¹ gibi geçiş metallerinin indirgenmiş formları ile reaksiyona girerek bir alkoksil radikalının (PO[•]) oluşumuna (Reaksiyon 4 ve 5) ve bu alkoksil radikalının hidroksil türevinin (POH) oluşumuna (Reaksiyon 6 ve 7) yol açmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Protein oksidasyon reaksiyonları (Estévez, 2011)

Serbest radikallerin neden olduğu protein oksidasyonuna ek olarak, lipit peroksidasyonu ve enzimatik olmayan glikolizasyon, dolaylı olarak proteinlerin oksidasyon modifikasyonuna aracılık edebilmektedir. Etin işlenmesi, et ürünlerinin üretilmesi ve depolanması sırasında lipit peroksidasyonunun gerçekleşmesi kaçınılmazdır ve lipit peroksidasyonu, alkilperoksil radikalleri, alkoksi radikalleri, reaktif karbonil bileşikleri, hidroperoksit vb. gibi birçok ara ürünün oluşumuna neden olmaktadır. Reaktif karbonil bileşikleri, kovalent çapraz bağlantılar oluşturmak için proteinlerin yan zincir gruplarıyla reaksiyona girebilirken, alkilperoksil ve alkoksi radikalleri ise peptit omurgası ve amino asit yan zincir grupları ile reaksiyona girebilmektedirler (Douny *et al.* 2014). Bu arada, hidroperoksit, ε-amino yoluyla bir amid eklentisi oluşturmak üzere proteinler ile reaksiyona girebilmektedir. Lipit peroksidasyon reaksiyonundan üretilen reaktif aldehytler esas olarak α, β-doymamış aldehytlerdir, bunlar protein oksidatif denatürasyonunu indükleme konusunda oldukça etkilidirler (Williams *et al.* 2006; Mello *et al.* 2007; Zhang *et al.* 2013; Dominguez *et al.* 2022). Öte yandan, enzimatik olmayan glikolizasyon da proteinlerin oksidasyonuna yol

açmaktadır. Ek olarak, serbest oksijen türleri, enzimatik olmayan glikolizasyon reaksiyonlarının hızlanmasına aracılık etmekte ve glikolizasyon reaksiyonu tarafından üretilen ürünler proteinlerle reaksiyona girerek protein oksidasyonunun oluşmasına yol açabilmektedir (Traverso *et al.* 1997; Dominguez *et al.* 2022).

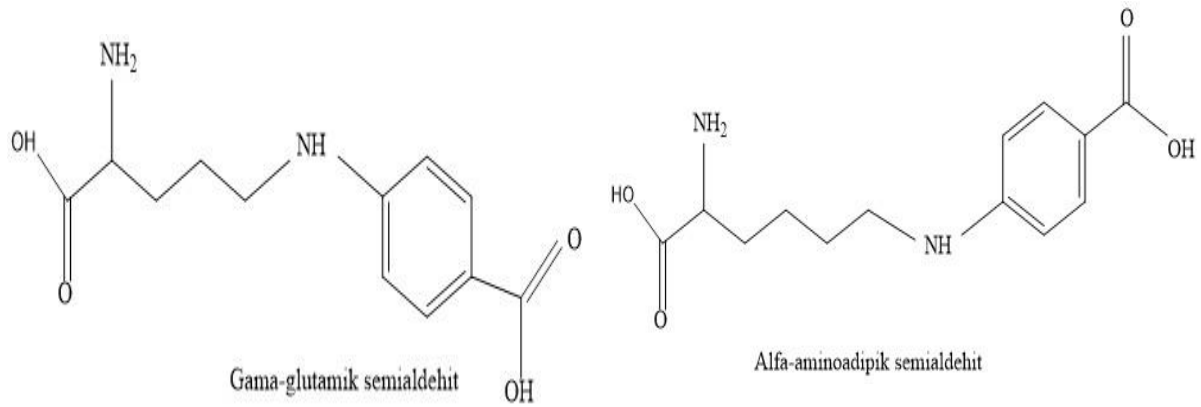
Etlerde protein oksidasyonu, sülfidril gruplarının kaybı, triptofanın floresans özelliğinin kaybı, karbonil derivatiflerinin artışı ve moleküller arası çapraz bağların oluşumu gibi birçok kimyasal yöntem ile değerlendirilmektedir. Belirtilen bu değişimler arasında, karbonil bileşiklerinin oluşumunun, okside proteinlerdeki en belirgin modifikasyonlardan biri olduğu vurgulanmaktadır (Estevez 2011).

Proteinlerin karbonilasyonu, oksidatif stresin neden olduğu ve proteinlerin yapısında gerçekleşen protein oksidasyonunun önemli ve geri dönüşümsüz bir belirteçidir (Nawaz *et al.* 2022). Protein karbonilasyonu için farklı oluşum yollarının olduğu belirtilmektedir. Bunlar; 1) lizin, treonin, arginin ve prolin gibi alkali amino asitlerin yan zincirlerinin radikal merkezli oksidasyonu, 2) Bir alkali amino asidin epsilon amino grubunun, indirgen şekerlerin mevcudiyetinde Maillard reaksiyon aracılığıyla glikasyon reaksiyonu, 3) lipid oksidasyonunun sekonder ürünleri gibi protein olmayan karbonil gruplarının kovalent bağlanması ve 4) α -amidasyon yolu veya glutamil yan zincirlerinin oksidasyonu yolu ile peptit omurgasının oksidatif ayrılmasıdır (Özyurt *et al.* 2016; Nawaz *et al.* 2022). Öte yandan, bu oluşum yolları arasında, Maillard reaksiyonunun, kas ve plazma proteinlerinde önemli bir karbonilasyon yolu olduğu belirtilmektedir (Özyurt *et al.* 2016). Maillard reaksiyonu, proteinlerin amino grupları ve indirgen şekerler arasında oluşmakta ve Schiff bazları, Amadori ürünleri ve ileri glikasyon son ürünlerini içeren pek çok ürünün oluşmasına neden olmaktadır. Protein karbonilleri, α -aminoadipik semialdehit (AAS) ve γ -glutamik semialdehit (GGS) gibi oksidatif stresin özel belirteçlerinin oluşması da yine indirgen şekerlerin mevcudiyetinde gerçekleşmektedir (Özyurt *et al.* 2016). Öte yandan, Estevez (2011), et proteinlerinin karbonilasyonundan sorumlu ana unsurun; protein yan zincirlerinin doğrudan oksidasyonu olduğunu belirtmektedir. Buna karşılık, yapılan başka bir çalışmada, suda çözünebilir proteinlerin myoglobin ile etkileşiminin aynı zamanda protein karbonillerini de oluşturabileceği ve H_2O_2 ile aktive edilmiş metmyoglobin AAS ve GGS oluşumunu teşvik ettiği belirtilmektedir (Estevez and Heinonen 2010).

Son yıllarda, oksidasyona uğramış miyofibriler proteinlerde AAS ve GGS bileşiklerinin tespit edilmesi nedeniyle bu bileşikler (Şekil 2) et ve et ürünleri dahil olmak üzere farklı gıdaların protein oksidasyonu analizleri için güvenilir protein oksidasyon belirteci olarak kabul edilmektedir (Daneshvar *et al.* 1997; Akagawa *et al.* 2006; Estévez 2011; Utrera

et al. 2013; Lorigo *et al.* 2016; Dominguez *et al.* 2021). AAS ve GGS bileşiklerinin, alkali amino asitlerini oksitleyen metal katalizli reaksiyonlar yoluyla oluştukları ve lisin amino asidinin AAS oluşumunda, arginin ve prolin aminoasitlerinin ise GGS oluşumunda rol aldığı bildirilmiştir (Dominguez *et al.* 2022; Zhang *et al.* 2023).





Şekil 2. GGS ve AAS kimyasal formülleri

Et Protein Oksidasyonlarının Türleri

Proteinlerin Fotooksidasyonu

Et ve et ürünlerinin perakende ortamında ışık kaynaklarına doğrudan maruziyeti, tüketicilerin çekici bulduğu ve çoğu zaman beklediği albenisi yüksek renkli görüntüler sunabilmektedir. Bununla birlikte, bu perakende teşhir biçimi, proteinin foto-oksidasyonunu destekleyebilmektedir. Protein ve peptitlerin oksidatif hasarı, çok çeşitli bozulma durumları ile ilişkilidir. Foto-oksidatif hasar, proteinler UV radyasyonuna maruz kaldığında ortaya çıkmakta ve genellikle oksijen varlığında reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşumunu tetiklemektedir. Bu husus, cilt, saç ve göz gibi biyolojik sistemlerin yanı sıra özellikle yün, ipek, süt ve et gibi ticari öneme sahip protein bazlı son ürünlerde önem arz etmektedir (Grosvenor *et al.* 2010). Protein fotooksidasyonunun oluşumu; esas olarak iki mekanizmadan oluşmaktadır. Proteinler, kromojenik gruplar tarafından absorpsiyonunun bir sonucu olarak ultraviyole radyasyon yoluyla doğrudan fotookside olabilmektedir (Davies 2012; Pattison *et al.* 2012). Proteinlerdeki ana kromojenik amino asitler; triptofan, tirozin ve sistein amino asitleridir. Proteinin doğrudan fotokimyasal etkileri esas olarak amino asit yan zincirleri öncülüğündedir ve spesifik bir yan zincirin katkısı etteki mevcudiyetine dayanmaktadır (Davies 2012). Ek olarak bu mekanizma, foto-iyonizasyon nedeniyle radikallerin veya uyarılmış türlerin moleküllerini oluşturmak için hidrojen çıkarımı ve elektron taşınması ile sonuçlanabilmektedir (Xiong and Guo 2020). Bu durum, sırasıyla protein hasarına ve moleküler karakteristiklerin değişimine neden olmaktadır (Schaich and Pryor 1980; Halliwell and Gutteridge 2015; Dominguez *et al.* 2022). Öte yandan, singlet oksijen yolu, fotooksidatif reaksiyonlar için başka bir mekanizma olarak düşünülmektedir. Tekli oksijen yolu, ışığa duyarlılığı artıran maddelerin (örneğin metal içermeyen porfirinler) aktivasyonu altında üçlü oksijenin tekli oksijene dönüşümünü ifade etmektedir (DeRosa and Crutchley 2002). Farklı amino asit yan zincir gruplarıyla etkileşime giren singlet oksijenden türeyen reaktif ara ürünler, proteinlerin oksidasyonunu tetikleyebilmektedir (Dominguez *et al.* 2022).

Metal Katalizli Protein Oksidasyonu

Metal katalizli protein oksidasyonu, muhtemelen protein içeren gıdalarda yaygın oluşumu nedeniyle üç farklı protein oksidasyon türü arasında en yaygın olarak araştırılan protein oksidasyon türüdür. Metal katalizli oksidasyon, genellikle Fe^{2+} veya Cu^{+} gibi indirgenmiş metal iyonlarının, Fenton reaksiyonu adı verilen reaksiyonda, H_2O_2 ile etkileşime girmesi ve son derece reaktif hidroksil radikallerini üretmesi durumunda ortaya çıkmaktadır (Møller *et al.* 2011). Lisin, histidin, arginin, treonin ve prolin amino asit yan zincirleri metal iyonu katalizli oksidasyona özellikle duyarlıdır (Stadtman and Levine 2003; Trnková *et al.* 2015). Çeşitli prooksidasyon reaksiyonlarından üretilen süperoksit anyonu, spontan reaksiyon da dahil olmak üzere farklı yöntemlerle kolaylıkla H_2O_2 'ye dönüştürülmektedir. Ek olarak, şelatlı bir bileşiğin oluşumu, enzimler ve proteinlerin metal bağlama bölgelerindeki amino asit kalıntıları içeren indirgenmiş durumdaki metal iyonlarının kombinasyonuna atfedilmektedir. Üretilen şelatlı bileşikler, H_2O_2 ile reaksiyona girerek oldukça aktif hidroksil radikalleri oluşturmaktadır. Hidroksil radikalleri, özellikle metal bağlama bölgelerinde (veya yakınında) bulunan amino aside saldırmaya yatkındır ve neticede karbonil türevlerinin oluşumuna neden olmaktadır. Anılan bu reaksiyonlar, yalnızca, reaksiyon sisteminde az miktarda bulunan serbest geçiş metal iyonları varlığında gerçekleşebilmektedir. Bu basamaklar üzerine, hem içeren proteinlerin katalitik etkisinin, metal katalizli protein oksidasyonu için alternatif bir yol olarak kabul edilebileceği de belirtilmektedir (Bamm *et al.* 2003; Grinshtein *et al.* 2003; Dominguez *et al.* 2022).

Enzim Katalizli Protein Oksidasyonu

Protein oksidasyonunda, enzimatik olmayan oksidasyona ek olarak, enzimin neden olduğu protein oksidasyonu da bulunmaktadır. Genellikle enzim katalizli protein oksidasyon prosesleri, reaktif radikallerin katalitik üretimi ve bunların proteinler üzerindeki müteakip etkilerini içeren iki adımdan oluşmaktadır. Bilhassa, gıdayla ilgili oksidazlar; glukozdan H_2O_2 üretimini katalizleyen glukoz oksidaz; fenol serbest radikallerini üreten lakkaz; doymamış lipidlerin hidroperoksitler oluşturmak üzere oksidasyonunu katalizleyen lipoksigenaz ve peroksi radikallerinin oluşumuna dahil olan laktoperoksidaz enzimleri yer almaktadır (Xu 1996; Kussendrager and Van Hooijdonk 2000; Wang *et al.* 2016; Hayward *et al.* 2017; Dominguez *et al.* 2022)

Protein Oksidasyonunu Etkileyen Faktörler

Et ve et ürünleri, birçok depolama koşulu altında, sürekli olarak oksitleyici ortama maruz kalmakta ve neticede reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşumu

gerçekleşmektedir. Oksitleyici ajanlar ve antioksidan moleküller arasındaki uyumsuzluk, oksidasyon ve bu ürünlerin devam eden degradasyonuna neden olmaktadır (Falowo *et al.* 2014; Kehm *et al.* 2021). Protein oksidasyonuna farklı iç (örneğin gıda bileşimi, menşei, hayvan türü, kas tipi vb.) ve dış faktörlerin (örneğin tuzlama, olgunlaştırma, fermentasyon, ısıtma işlemi, depolama koşulları vb.) etki ettiği bildirilmektedir (Traore *et al.* 2012; Dominguez *et al.* 2022).

Protein Oksidasyon Ürünlerinin Sağlık Üzerine Etkileri

Protein oksidasyonunun, Maillard reaksiyonu neticesinde oluşabilen heterosiklik aromatik aminler ve ileri glikasyon son ürünlerini oluşturabilen aktif karbonil bileşiklerini üretebileceği belirtilmektedir. Çünkü protein oksidasyonu ve Maillard reaksiyonları birbiriyle ilişki içerisinde olup yaygın kimyasal mekanizmaları ve ara ürünleri paylaşmaktadırlar (Wu *et al.* 2021; Domínguez *et al.* 2021; Domínguez *et al.* 2022). Bazı araştırmacılar, heterosiklik aromatik amin alımının, alkolsüz yağlı karaciğer hastalığı ile parkinson, alzheimer ve diğer nörodejeneratif hastalıkları teşvik eden sinir hücrelerinin hasarları gibi çeşitli hastalıklarla ilişkili olduğunu bildirmiştir. Bu durum, bu bileşiklerin nörotoksik, mutajenik ve karsinojenik aktiviteye sahip olması ile ilgilidir (Agim and Cannon 2018; Cruz-Hernandez *et al.* 2018). Ayrıca, ileri glikasyon son ürünlerinin birikmesi diyabet, ateroskleroz, çeşitli tümörler ve alzheimer hastalığı gibi farklı kronik hastalıkların gelişmesiyle de ilişkilidir (Nowotny *et al.* 2018; Kosmopoulos *et al.* 2019). Protein oksidasyonunun göğüs, pankreas kanserleri, hepatit ve RNA fibrozis, kardiyovasküler hastalıklar, inflamatuvar hastalıklar, yaşlanma ve nörodejenerasyon, alzheimer, parkinson, diyabet, romatoid artrit ve kataraktogenez gibi birçok hastalığın oluşumunu katkıda bulunabileceği bildirilmektedir (Stadtman and Levine 2006; Papuc *et al.* 2017; Bao and Ertbjerg 2019; Nawaz *et al.* 2022). Ayrıca, sindirime dirençli okside amino asitler, bağırsak mikrobiyotası tarafından kullanılabilen ve kolon kanseri ile ilişkili olduğu bildirilen biyojen aminler, amonyak, kresol ve indol gibi mutajenik bileşiklere dönüşebilmektedir (Estévez *et al.* 2011; Hellwig 2019; Bao *et al.* 2021). Bu nedenle, uluslararası otoriteler, insanların bu bileşiklere maruz kalma seviyesinin azaltılmasını tavsiye etmektedir (Domínguez *et al.* 2021).

Protein Oksidasyonunun Gıda Kalitesine Etkileri

Oksidatif degradasyon nedeniyle proteinlerin modifikasyonunun, gıda proteinlerinin fiziko-kimyasal özellikleri ve işlevselliği üzerinde önemli etkilere sahip olduğu ve gıdanın kalitesini değiştirdiği bilinmektedir (Bao and Ertbjerg 2019; Bao *et al.* 2021). Bununla birlikte, et kalitesinin bozulmasında protein oksidasyonunun önemi kısmen

araştırılmıştır. Tüm olası reaksiyonlar arasında, tiyol kayıpları veya karbonil oluşumu gibi amino asit yan zincirlerindeki değişiklikler, etin kalitesini etkileyen en önemli iki değişiklik olarak göze çarpmaktadır. Bu bağlamda histidinin, karbonil oluşumundaki artışın ana etkeni olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, oksidatif modifikasyonlar protein yüklerinin de değişmesine yol açabilir. Bu durum da protein oksidasyonunun gıda kalitesi üzerinde oluşturduğu mekanizmaları anlamak için yeni bir bakış açısı sunmaktadır. Protein oksidasyonunun bir diğer önemli sonucu ise proteinler arasında veya bir proteinin içinde kovalent bağlara sahip protein çapraz bağının oluşmasıdır (Lund *et al.* 2011; Bao and Ertbjerg, 2019; Bao *et al.* 2021). Bu nedenle, protein oksidasyonunun etin duyu kalitesinde, tekno-fonksiyonel özelliklerinde ve beslenme özelliklerinde değişikliklere yol açmaktadır (Stadtman and Levine 2003; Ferreira *et al.* 2018). Tüm bu değişiklikler iki ana kategoride toplanabilmektedir. Bunlardan biri protein oksidasyonunun gıdaların fiziko-kimyasal karakteristikleri (ve dolayısıyla tekno-fonksiyonel özellikleri) üzerindeki etkisi, diğeri ise kaslı gıdaların besin kalitesi üzerindeki ana etkileri olabilmektedir. Etin tüm fiziko-kimyasal özellikleri arasında renk, tat-aroma ve tekstür, belki de tüketici kabul edilebilirliğini etkileyen ve belirleyen en önemli özellikler arasında yer almaktadır. Neticede, protein oksidasyonu sırasında meydana gelen mikroskobik değişiklikler, etin kalitesi üzerinde makroskobik düzeyde çok büyük bir etki yaratabilmektedir (Bao and Ertbjerg 2019; Bao *et al.* 2021; Dominguez *et al.* 2022; Nawaz *et al.* 2022).

Genel olarak, oksidatif reaksiyonların, gevreklik seviyesinde azalmaya, sertlik ve kesme kuvveti değerinde artışa neden olarak etin tekstürü üzerinde negatif bir etki oluşturduğu kabul edilmektedir (Ferreira *et al.* 2018; Bao *et al.* 2021). Bu bağlamda, proteinlerin üç boyutlu dizilişi, protein çapraz bağının oluşumu ve protein net yüklerinin modifikasyonunu içeren proteinlerin oksidatif modifikasyonu, gıda tekstürü üzerine doğrudan bir etkiye sahiptir. Tüm bu açıklamalar doğrultusunda, gıdaların sertliğinin ve çiğnenebilirliğinin (toughness) artması, protein çapraz bağ yapılarının artması ve proteolitik enzim aktivitesinin azalması ile ilişkili olduğu belirtilmektedir (Lund *et al.* 2007; Estévez *et al.* 2011; Bao and Ertbjerg 2015; 2019; Hellwig 2020; Xiong and Guo 2020; Bao *et al.* 2021; Zhao *et al.* 2021).

Protein çapraz bağ yapılarının oluşumu, etin çiğnenebilirliğinde bir artışa neden olmakta ve neticede miyofibril çapraz bağlarının gıdalardaki tekstürel değişikliklerle doğrudan ilişkili olduğu kabul edilebilmektedir (Lund *et al.* 2007; Bao and Ertbjerg, 2015; 2019; Bao *et al.* 2021; Zhao *et al.* 2021). Kasılmış sarkomerlerde, kalın filamentlerin (miyosin) ve ince filamentlerin (aktin) daha fazla örtüşmesini içeren değişmiş bir yapı, daha

fazla disülfid bağının oluşmasına izin verecek ve canlı hayvanlardaki gevşemiş kas yapısıyla karşılaştırıldığında dokusal olarak daha sert bir ürüne yol açacaktır (Bao and Ertbjerg 2019). Tüm çapraz bağlantı reaksiyonları arasında, sistein tiyol gruplarının oksidasyonu yoluyla disülfid oluşumu, iki tirozin radikalinin etkileşimi yoluyla ditirozin oluşumu ve karboniller arasındaki reaksiyon (hem lipit hem de protein oksidasyon ürünlerinden) ve lizin ϵ -amino gruplarının oluşumu en yaygın olanlarıdır (Estévez *et al.* 2011; Lund *et al.* 2011; Bao and Ertbjerg 2019). Ürünün çiğnenebilirliği ile miyofibriler proteinlerin çapraz bağlanması arasındaki ilişki, farklı et türlerinde birçok birçok araştırmacı tarafından gösterilmiştir (Lund *et al.* 2007; Bao and Ertbjerg 2015). Aslında molekül içi ve moleküller arası çapraz bağlanma, kaslı gıdalardaki yapısal değişikliklerin ana nedenidir ve bu nedenle oksitlenmiş proteinlerdeki işlevsellik kaybının birincil nedeni olduğu düşünülmektedir (Estévez *et al.* 2011; Zhang *et al.* 2013).

Bununla birlikte, mevcut literatür bilgileri gıdanın tekstürü üzerindeki değişiklikler üzerine protein oksidasyonunun etkisi için farklı bir muhtemel açıklama da önermektedir. Bazı araştırmacılar, proteinlerin oksidatif degradasyonu ile etin tekstürü arasında bir ilişki olduğunu göstermişler ve bu nedenle proteolitik enzimlerin aktivitesinde bir azalma olduğunu belirtmişlerdir (Zhang *et al.* 2013). Post-mortem proteolizin etin gevrekleştirilmesinde oldukça önemli bir işlem olduğu ve etin buzdolabı sıcaklıklarında olgunlaştırılmasını takiben daha gevrek bir yapı kazanmasına neden olan asıl mekanizma olduğu iyi bilinmektedir. Bu gevrekleştirme işleminden proteolitik enzimler sorumludur ve bunların arasında kalpainler sorumlu olan başlıca enzimlerdir. Bu enzimler, sistein ve histidin kalıntıları arasındaki elektron transferi için gereklidir. Bununla birlikte, eğer bu kalıntılar oksitlenirse, kalpain aktivitesi inhibe edilir ve dolayısıyla proteoliz (ve etin gevrekleşmesi) azalır (Bao and Ertbjerg 2015; Bao and Ertbjerg 2019; Hematyar *et al.* 2019). Ama yine de, gevreklik ve proteolitik aktivite arasındaki ilişkiyi tartışırken oksidasyonun derecesini hesaba katmak önemlidir, çünkü ılımlı seviyedeki oksidasyon, proteinleri açabilir ve onları enzimler için daha erişilebilir hale getirebilir ve neticede yapısal proteinler parçalanabilir. Öte yandan, yoğun oksidasyon durumu ise protein yapılarının daha kompakt hale gelmesine neden olabilir. Bu nedenle, yüksek düzeyde protein oksidasyonu görülen etin çiğnenebilirliğindeki artış, azalan proteolizden ziyade, genellikle protein çapraz bağlanmasına atfedilmektedir (Bao *et al.* 2015; Bao *et al.* 2021).

Etin rengine gelince, miyoglobinin kimyasal ve oksidatif durumunun, kaslı gıdaların rengini belirlediği iyi bilinmektedir (örneğin, kırmızı etin renk stabilitesi) (Domínguez *et al.* 2019; Bao *et al.* 2021). Miyoglobin kasta bulunan globüler bir proteindir ve 153 amino asit ve

bir de hem grubundan oluşmaktadır. Bu hem grubu, miyoglobine ve türevlerine ayırt edici rengini vermektedir (Chaijan 2008). Bununla birlikte, miyoglobin, oksidasyona karşı oldukça hassastır ve oksidasyonu neticesinde tüketiciler tarafından gıdanın bozulmasıyla ilişkili olduğu düşünülen kahverengi bir rengin oluşmasına neden olmaktadır. Ferro-oksimiyoglobinin (Fe^{+2}), ferrik-metmiyoglobine (Fe^{+3}) oksidasyonu et, balık ve bunların ürünlerinin renginin bozulmasından sorumludur (De Carvalho *et al.* 2019). Enstrümantal renk analizindeki en belirgin değişim; etin kırmızılık değerindeki (a^* parametresi) azalma ve sarılık değerindeki (b^* parametresi) artış iken, etteki bu oksidatif işlemin gözle görülen değişikliği ise parlak kırmızı renkten donuk kahverengi renge doğru bir değişim olarak kendini göstermektedir (Xia *et al.* 2021; Dominguez *et al.* 2022). Bu bağlamda, araştırmacılar miyoglobin otoksidasyon ile et rengi stabilitesi arasında doğrudan bir ilişki olduğunu göstermişlerdir (Wang *et al.* 2021). Bu nedenle, protein oksidasyonunun etin rengi üzerinde doğrudan etkisi olduğu düşünülmektedir. Benzer şekilde, diğer araştırmacılar da miyoglobin oksidasyon durumu (ve aynı zamanda toplam karbonil içeriği olarak ölçülen protein oksidasyonunun durumu) görsel renk değişikliği (De Carvalho *et al.* 2019) ve kıyma haline getirilmiş ürünlerdeki enstrümantal renk değişiklikleriyle ilişkilendirmiştir (Pateiro *et al.* 2018; De Carvalho *et al.* 2019). Ek olarak, miyofibriler protein oksidasyonu da protein jellerinde renk değişikliklerine neden olmaktadır. Bu bağlamda, protein oksidasyonu jellerin beyazlığını azaltır ve bu durum, daha bulanık bir görünüm üreten ve dolayısıyla renk değişikliklerine neden olan karbonilasyon süreciyle ilgilidir (Zhou *et al.* 2014; Dominguez *et al.* 2022)

Oksidatif ve proteolitik reaksiyonların, etin tadı ve aroması üzerine direkt etkisi olan uçucu bileşiklerin serbest hale gelmesinde önemli bir rol oynadığı da iyi bilinmektedir (Domínguez *et al.* 2019a; Domínguez *et al.* 2019b). Bu nedenle, her iki reaksiyon tipini de etkileyebilen protein oksidasyonunun, etin lezzetini de etkilemesi beklenmektedir (Lund *et al.* 2011). Protein karbonilleri, AAS ve GGS gibi bazı okside protein ürünleri, Maillard reaksiyonundan nihai aromatik bileşiklerin oluşumunda rol oynayan lösin ve izolösinden, Strecker aldehitlerinin oluşumunu belirlemektedir (Estévez *et al.* 2011). Ek olarak, açığa çıkan aromatik amino asit ve ileri glikolizasyon son ürünleri etin aromasını da etkileyebilmektedir (Xia *et al.* 2021). Böylelikle, proteoliz ve protein oksidasyonunun eş zamanlı mevcudiyeti (özellikle olgunlaştırılmış ve ileride derecede işlenmiş et ve et ürünlerinin uzun süre olgunlaştırılması neticesinde), Strecker aldehitlerinin oluşumu yoluyla bu ürünlerin nihai aroması üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olabilmektedir (Estévez *et al.* 2011). Öte yandan, kükürt içeren amino asitlerin oksidasyonunun, aynı zamanda istenmeyen

tatların üretimiyle de ilişkili olabileceği belirtilmektedir (Hellwig 2020; Dominguez *et al.* 2022).

Etteki proteinlerin bir diğer önemli tekno-fonksiyonel özelliği ise su tutma kapasitesidir. Bu parametre, aynı zamanda tekstürel değişimlerle de ilgilidir. Et ve et ürünlerindeki suyun çoğu (yaklaşık %85) miyofibriller matriks (aktin ve miyosin içeren) içinde tutulmaktadır (Huff-Lonergan *et al.* 2005; Huff-Lonergan *et al.* 2010; Estévez *et al.* 2011; Dominguez *et al.* 2022) ve dolayısıyla miyofibril hacmindeki değişikliklerin (örneğin filament yükleri ve yapısal kısıtlamalar), su tutma kapasitesi ve protein oksidasyonu arasındaki ilişkiyi açıkladığı ileri sürülmektedir (Bao *et al.* 2018; Bao and Ertbjerg 2019). Oksidatif modifikasyonlar, histidin ile lisin ve arginin kalıntılarını (pozitif yüklü formlarda) içeren karbonilasyon işlemi nedeniyle protein yüklerinde değişikliğe neden olabilirler (Stadtman and Levine, 2003; Bao and Ertbjerg, 2019). Böylece, bu amino asitler, oksidasyon nedeniyle pozitif yüklerini kaybetmekte ve neticede protein yükleri değişmekte ve net negatif yük miktarı artmaktadır (Estévez *et al.* 2011; Utrera and Estévez, 2012). Bu durum, sırasıyla miyofilamentler arasındaki elektrostatik itmeyi artırmakta ve miyofibrillerin şişme basıncı ve hacmi artmaktadır ve neticede etin su tutma kapasitesinin artmasına katkıda bulunmaktadır. Bu durumun tersine, protein oksidasyonu aynı zamanda proteinlerin içindeki ve arasındaki çapraz bağlı yapıları da artırmaktadır. Bu süreç kısıtlamaları artırmakta ve miyofibrillerin şişme yeteneğinde azalmaya neden olmaktadır (Bao *et al.* 2018). Bu nedenle, çapraz bağlanma, protein yapısını güçlendirmekte ve bu durum da su tutma kapasitesinde genel bir azalmaya neden olmaktadır. Ayrıca, protein oksidasyonu ile proteolitik reaksiyonların (yukarıda açıklandığı gibi) inhibisyonu, su tutma kapasitesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu durum, proteoliz ile etlerin su tutma kapasitesi arasında pozitif bir ilişki olduğunu bildiren çalışmalar tarafından desteklenmektedir (Farouk *et al.* 2012; Zeng *et al.* 2017). Son zamanlarda, proteolize benzer şekilde, ılımlı oksidasyonun, proteinli gıdaların işlevselliğini artıran düzenli protein etkileşimlerini desteklediği, yoğun oksidasyon seviyelerinin ise rastgele protein toplanmasını teşvik ettiği ve proteinlerin işlevselliğini azalttığı öne sürülmüştür (Xiong and Guo 2020; Bao *et al.* 2021). Dolayısıyla protein işlevselliğinin doza bağlı davranışı, oksidasyonun proteinlerin su tutma özellikleri üzerindeki etkisini kısmen açıklayabilmektedir. Ayrıca, oksidatif süreçler, proteinlerin hidrojen bağı, elektrostatik itme veya kılcal etki yoluyla su moleküllerine bağlanma yeteneğini değiştirmektedir. Sonuç olarak, protein oksidasyonunun, su tutma kapasitesi üzerindeki etkisi, destekleyici (örneğin, miyofibrillerin şişmesinde artış ve negatif net yük) ve engelleyici faktörler (örneğin, çapraz bağlanma veya proteolizin azalması) arasındaki bir denge olarak

kendini göstermektedir (Bao and Ertbjerg 2019; Bao *et al.* 2021) ve aynı zamanda protein oksidasyonunun derecesine de bağlıdır (Dominguez *et al.* 2022).

Su tutma kapasitesine ek olarak, protein oksidasyonu, aynı zamanda protein çözünürlüğü, jelleşme ve emülsifiye edici özellikler gibi diğer tekno-fonksiyonel parametreleri de etkilemektedir (Lund *et al.* 2011; Zhang *et al.* 2013). Bu bağlamda, yoğun protein oksidasyonu, protein denatürasyonu ve çökmesi nedeniyle protein çözünürlüğünde bir azalmaya neden olmaktadır (Zhang *et al.* 2013). Buna karşılık, protein oksidasyonu, proteinlerin hem jelleşme hem de emülsifikasyon özelliklerini geliştirebilmektedir (Zhang *et al.* 2013; Wang *et al.* 2021). Ilımlı düzeyde okside olmuş proteinlerden üretilen jeller, aynı zamanda, emülsifiye et ürünleri üretilirken ki önemli parametreler olan kesme kuvveti ve gerçek dayanıklılık değerlerinin daha iyi olmasına imkan tanımaktadır. Aslında etin protein jelleri oluşturma yeteneği, işlenmiş et ve balık ürünlerinin en önemli işlevselliklerinden biridir (Zhou *et al.* 2014). Ilımlı düzeyde oksitlenmiş proteinlerle jel oluşturma yeteneğinin geliştirilmesinin ana açıklaması, proteinler ve polipeptitler arasında çapraz bağ yapılarının oluşumunun artması ve jel ağının hareketliliğini azaltan ve jel matrisini stabilize eden diğer kovalent olmayan bağların stabilizasyonu ile ilgilidir. Aynı zamanda, ılımlı protein oksidasyonu, homojen bir por dağılımına sahip ağ oluşumuna da katkı sağlamaktadır (Zhang *et al.* 2013; Zhou *et al.* 2014).

Yukarıda bahsedilen fiziko-kimyasal değişikliklere ek olarak, protein oksidasyonu, etin besinsel kalitesinin kaybında da önemli bir role sahiptir (Bao *et al.* 2021). İlk olarak, protein kalitesinin (beslenme açısından) amino asitlerin bileşimi, peptit dizilimi, doğal yapı ve biyoyararlanımı ile ilişkili spesifik metabolik fonksiyonları gerçekleştirme yeteneği olarak tanımlanabileceğini vurgulamak önemlidir (Soladoye *et al.* 2015). Bu nedenle, protein oksidasyonunun etin besin kalitesi üzerindeki en belirgin sonucu, temel besin bileşenlerinin (örneğin amino asitlerin) kaybı ve amino asit profilindeki önemli değişim olarak göze çarpmaktadır (Estévez *et al.* 2011; Bao *et al.* 2021). Bazı amino asitler oksidatif degradasyona oldukça hassastır. Bu bağlamda, sistein, tirozin, fenilalanin, triptofan, histidin, prolin, arginin, lisin ve metiyoninin radikal oksijen türlerine karşı oldukça duyarlı olduğu iyi bilinmektedir (Lund *et al.* 2011). Bu amino asitler arasında histidin, arginin, sistein, fenilalanin, triptofan, lisin ve metiyonin esansiyel veya yarı esansiyel amino asitler olarak kabul edilmekte ve böylelikle bunların insan diyetinde olmaları gerekmektedir (Zhang *et al.* 2013). Neticede, esansiyel amino asitlerin karbonilasyon yoluyla geri dönüştürülemez oksidatif modifikasyonu, etlerin besin değeri üzerinde net olarak negatif etkiye neden

olmaktadır. Ayrıca, bu bileşiklerin oksidatif modifikasyonları da biyoyararlanımlarını sınırlayabilmektedir (Lund *et al.* 2011; Estévez *et al.* 2011; Soladoye *et al.* 2015).

Protein sindirimi kompleks bir mekanizma olmasına rağmen oksidasyon, sindirimi etkileyebilmektedir. Bu bağlamda, sindirim enzimlerine proteinlerin duyarlılığı üzerine protein oksidasyonunun, etkisi hakkında çeşitli tartışmalar yer almaktadır (Soladoye *et al.* 2015). Bazı araştırmacılar, oksidatif reaksiyonların protein sindirilebilirliğini bozduğunu belirtmişlerdir (Zhang *et al.* 2013; Hu *et al.* 2017). Öte yandan, sindirim üzerine protein oksidasyonunun etkisi, oksidasyonun seviyesi veya şiddetine bağlı olduğunu unutmamak önemlidir. Daha önce belirtildiği gibi, ılımlı oksidasyon, proteinin açılmasını teşvik edebilir ve neticede sindirim sistemindeki proteazların (örneğin, pepsin, tripsin ve alfa-kimotripsin) bu proteinlere erişimi artmakta ve sindirim desteklenebilmektedir (Sante-Lhoutellier *et al.* 2007; Soladoye *et al.* 2015). Öte yandan, yoğun oksidasyon, protein sindirilebilirliğini bozan aşırı polimerizasyon ve agregasyona neden olmaktadır (Sante-Lhoutellier *et al.* 2007; Santé-Lhoutellier *et al.* 2008; Lund *et al.* 2011; Li *et al.* 2017). Spesifik amino asit yan zincirlerinin oksidatif degradasyonu, tanıma bölgelerini kimyasal ve fiziksel olarak değiştirebilecek ve bu proteinlerin sindirilebilirliğini azaltabilecektir, çünkü okside proteinler, pankreas ve sindirim enzimleri tarafından uygun şekilde hidrolize edilmeye karşı dirençlidir (Estévez *et al.* 2011; Soladoye *et al.* 2015; Ferreira *et al.* 2018). Buna rağmen, genel bir ifade olarak sonuçlar, protein sindirim kaybı ve oksidatif protein hasarları arasında doğrudan bir ilişki olduğunu göstermektedir (Sante-Lhoutellier *et al.* 2007; Estévez *et al.* 2011). Nitekim, son zamanlarda yapılan bir araştırmada, protein karbonilasyonu ve etin sindirimi arasında yüksek bir korelasyon tespit edilmiştir ve bu durumda, hem esansiyel amino asitlerin kaybını hem de okside proteinlerin sindirilebilirliğinin değiştiğini doğrulamaktadır (Ferreira *et al.* 2018; Dominguez *et al.* 2022).

Sonuç olarak, protein oksidasyonu, proteinlerde, etin kalitesinde önemli değişiklikler ile sonuçlanan kimyasal ve yapısal değişimleri içeren, farklı moleküler değişimlere neden olmaktadır. Bu bağlamda, etin, besin değerine (esansiyel amino asitlerin kaybı, biyoyararlanım ve sindirimdeki azalma, toksik bileşiklerin oluşumu vb.) ilaveten fizikokimyasal ve tekno-fonksiyonel özellikleri (örneğin tekstür, renk, tat-aroma, su tutma kapasitesi, protein çözünürlüğü, protein jelleşme kapasitesi, protein emülsifikasyon yeteneği vb.), çeşitli oksidatif reaksiyonlar tarafından önemli ölçüde etkilenmektedir. Mevcut araştırmada, kesimden sonra bir gün süreyle dinlendirilmiş karkaslardan çıkarılan *M. throckaris et lumbarum* kasının belirli olgunlaştırma koşulları altında (75 ± 1 nem, $0,2 \pm 0,05$ m/s hava sirkülasyonu) farklı sürelerde (15 ve 30 gün) olgunlaştırma işleminin, çeşitli et kalite

parametreleri (kurumadde, pH, renk, ağırlık kaybı, tıraşlama kaybı, ham protein, SDS-PAGE) ile protein oksidasyon ürünlerinin (toplam karbonil, α -aminoadipik semialdehit ve γ -glutamik semialdehit) oluşumu üzerine etkisi incelenmiştir.



KURAMSAL TEMELLER

Et ve et ürünleri, yeterli ve dengeli beslenme açısından önemli gıda grupları arasında yer almaktadır. Son yıllarda et ve et ürünlerine, ürünlerin lezzet ve kalitesini artırmak amacıyla farklı işlemler (marinasyon, olgunlaştırma, işleme, pişirme, depolama vb.) uygulanabilmektedir. Bu işlemlerden biri de özellikle lüks restoranlarda ve geleneksel kasaplarda uygulanan kuru olgunlaştırma işlemidir. Kuru olgunlaştırma işlemi, uygun düşük sıcaklık, bağıl nem ve hava sirkülasyonu koşulları altında etin belirli bir süre depolanması ile gerçekleştirilmektedir (Fu *et al.* 2017; Hulánková *et al.* 2018; Ha *et al.* 2019; Zhang *et al.* 2020; Aşçıoğlu 2021). Kuru olgunlaştırma işlemi üzerine yapılan literatür çalışmalarında çeşitli karkasların veya özel karkas parçalarının materyal olarak kullanıldığı ve bu materyallerde farklı kalite kriter analizlerinin yapılarak kuru olgunlaştırma işleminin bu parametreler üzerine etkilerinin belirlendiği görülmektedir.

Martinaud *et al.* (1997) sığır *Longissimus lumborum* ve *Diaphragma pedialis* kaslarının olgunlaştırma işlemi boyunca protein oksidasyon düzeylerini ve miyofibriler proteinlere ait elektroforetogramlarını araştırdıkları çalışmada, olgunlaştırmanın ilk gününde toplam karbonil içeriğini *Longissimus lumborum* kasında 3,1 nmol/mg protein ve *Diaphragma pedialis* kasında ise 4,8 nmol/mg protein olarak belirlemişlerdir. 10 günlük olgunlaştırmanın ardından toplam karbonil içeriklerinin arttığı ve *Longissimus lumborum* kasında 5,1 nmol/mg protein ve *Diaphragma pedialis* kasında 6,9 nmol/mg protein olarak belirlenmiştir. Ayrıca elektroforetik çalışmalar neticesinde oksidasyona en duyarlı proteinin miyosin ve daha az oranda da Troponin T olduğu ifade edilmiştir.

Mercier *et al.* (2004) tarafından yapılan bir çalışmada, sığır *Longissimus dorsi* kasının başlangıç toplam karbonil içeriği yaklaşık 2 – 4 nmol/mg protein arasında değişirken, 30 dakika sonra karbonil içeriğinin yaklaşık 9 nmol/mg protein düzeyine yükseldiği belirlenmiştir. Araştırmacılar, toplam karbonil içeriğindeki artışın miyofibriler proteinlerde gerçekleşen protein bozulması ve parçalanmasından kaynaklandığı ve ayrıca lipid oksidasyonunun da etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Morzel *et al.* (2006) kimyasal oksidasyonun, miyofibriler proteinlerin proteolize duyarlılığına etkisini inceledikleri çalışmada, domuz *Longissimus dorsi* kaslarının kontrol grubu örneklerinde 1,7 nmol/mg protein olarak belirledikleri toplam karbonil içeriğinin,

oksitleyici ajan olarak Fe/H₂O₂/DETEPAC kullanılması durumunda 34 nmol/mg protein düzeyine kadar yükseldiğini bildirmişlerdir.

Armenteros *et al.* (2009) tarafından farklı et ürünlerinin (kıyma, kurutulmuş jambon, kurutulmuş fileto, kurutulmuş sosis, pişmiş sosis ve ciğer ezmesi) materyal olarak kullanıldığı araştırmada, spesifik protein oksidasyon ürünlerini (GGS ve AAS) araştırmışlardır. Araştırmada, tüm et ürünlerinde GGS miktarlarının AAS miktarlarına kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. AAS miktarlarının düşük olmasının, bu semialdehitin, etin işlenmesi ve depolanması sırasında daha ileri reaksiyonlara dahil olabileceği ve pişmiş ürünlerin ve hatta hafif işlenmiş örneklerde (örn. kıyma), ciddi teknolojilere ve uzun olgunlaşma süreçlerine tabi tutulan et ürünlerinden daha yüksek miktarlarda oluşmasına neden olabileceğini belirtmişlerdir.

Utrera *et al.* (2011) çiğ, pişmiş ve pişmiş-soğutulmuş domuz köftelerinin materyal olarak kullanıldığı araştırmada, örneklerin toplam karbonil içeriklerinin 1,31 – 3,42 nmol/mg protein arasında, AAS ve GGS değerlerinin ise 0,13 ile 1,09 nmol/mg protein arasında değiştiğini bildirmişlerdir. En düşük AAS (0,27 nmol/mg protein) ve GGS (0,13 nmol/mg protein) miktarları çiğ köfte örneklerinde belirlenirken, en yüksek miktarlar pişmiş ve soğutulmuş örneklerde belirlenmiştir. Araştırmacılar örneklerin toplam AAS ve GGS miktarlarının ise 0,40 – 1,68 nmol/mg protein arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Pişirme işleminin tüm örneklerin protein oksidasyon içeriklerini artırdığını ve pişmiş etlerdeki oksidatif reaksiyonların hızlanmasının; hücresel bölümlendirmenin bozulması ve membran lipidlerinin prooksidatif bir ortama maruz kalması ve miyoglobinden katalitik serbest demirin salınması gibi bir dizi faktörden kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Estevez *et al.* (2011) kas tipi (*M. Longissimus dorsi* – *M. Psoas major*), kıyma (kıyma haline getirilmiş – kıyma haline getirilmemiş), ambalajlama (oksijen – vakum) ve dondurma işlemlerinin, domuz eti örneklerinin protein karbolinasyonu ve su tutma kapasitesi üzerine etkisini araştırmışlardır. Araştırmada, taze domuz eti örneklerinin AAS ve GGS miktarları 1,16 – 4,33 nmol/mg protein arasında değişirken, 24 saat boyunca dondurulup çözündürülen örneklerin AAS ve GGS miktarlarının 4,17 – 6,13 nmol/mg protein arasında değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca su tutma kapasitesindeki kaybın, 12. haftada yaklaşık %10 – 30 arasında olduğu ve protein karbonilasyonunun domuz eti örneklerinin su tutma kapasitesini azaltabileceği belirtilmiştir. 1., 4., 8. ve 12. haftalarda yapılan analizlerde, 8. haftaya kadar AAS ve GGS miktarları artış gösterirken, 12. haftadan itibaren düşüş gösterdiği belirlenmiştir.

Demircioğlu (2011), 28 gün boyunca kuru ve yaş olgunlaştırma işlemlerine (ortam sıcaklığı 1,0 ± 2,0 °C, bağıl nem %83 ± 11) tabi tutulan dös eti, kontrafile (*M. Multidus dorsi*)

ve antrikot (*M. Longissimus dorsi*) etlerinin tekstürel, fiziko-kimyasal (pH, su tutma kapasitesi, pişme kaybı, kolesterol, renk, TBA, yağ asitleri ve protein vb.) ve mikrobiyolojik (maya ve küf sayımı, *Salmonella* sayımı, *Staphylococcus aureus* sayımı, *Escherichia coli* O157:H7 sayımı vb.) özelliklerini incelemiştir. Araştırmacı, olgunlaştırma periyodu boyunca, örnekler arasında, kimyasal özellikleri bakımından anlamlı düzeyde bir farklılık olmadığını belirlerken, 28. gün sonunda ise örneklerin tüketilemeyecek düzeyde bozulduğunu bildirmiştir. Araştırmada, ayrıca olgunlaştırma yöntemi ve olgunlaştırma periyodunun örneklerin tekstürel ve duyuşsal kalitesini olumlu yönde etkilediği de tespit edilmiştir ($p<0,05$).

Rodríguez-Carpena *et al.* (2011) tarafından yürütölen çalışmada, domuz köftelerinin 5 °C’de 15 güne kadar depolanmasının çeşitli kalite kriterleri ile toplam karbonil içerikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Farklı günlerde analiz yapılan örneklerin toplam karbonil içeriklerinin 0,5 – 2 nmol/mg protein arasında değıştiği ve depolama boyunca karbonil içeriklerinin arttığı rapor edilmiştir. Ayrıca renk parametrelerinin uygulamalar ve depolama günleri arasında farklılık gösterdiği ($p<0,05$) de belirtilmiştir.

Utrera and Estévez (2013) farklı hayvan etlerinden (sığır – *Kuadriseps femoris*, domuz – *Longissimus dorsi* ve tavuk – *Pectoralis major*) yapılan köftelerin protein oksidasyon oluşum düzeyleri üzerine dondurarak depolama (-18 °C’de 20 haftaya kadar) işleminin etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar, en yüksek AAS ve GGS miktarlarını sığır eti köftelerinde belirlerken, depolama sürelerine göre oluşum düzeyleri arasında farklılıklar olduğunu da bildirmişlerdir. Dondurarak depolama işleminin üç hayvan türünden elde edilen köftelerin tamamında protein karbonilasyonunu önemli düzeyde artırdığı belirlenmiştir. Bu artışa, donma sırasında buz kristallerinin oluşumu ile hücrelerin parçalanmasının neden olduğu ve demir, H₂O₂ ve miyogloblin gibi prooksidan etkiye sahip çözünen maddelerin yoğunlaşarak reaktif oksijen türlerinin oluşumuna yol açtığı belirtilmiştir. Bu reaktif türlerin düşük sıcaklıklara rağmen yüksek derecede oksidatif bir ortam oluşturarak proteinler gibi polar makromolekülleri sarabilmekte ve protein karbonilasyonunun ana prekürsörleri olarak rol oynayabilecekleri belirtilmektedir.

Cando *et al.* (2014) depolama (4 °C’de 11 gün) ve pişirme işlemi (170 °C’de 15 dakika) uygulanan sığır eti köftelerinin (çiğ, soğutulmuş, pişmiş, pişmiş – soğutulmuş) toplam karbonil içeriklerinin 0,08 ile 3,78 nmol/mg protein arasında değıştiğini rapor etmişlerdir. İşleme teknolojilerinin (depolama ve pişirme) uygulanmasının sığır eti köftelerinde protein karbonillerin ardışık artışlarına yol açtığı ve en büyük miktarın pişmiş – soğutulmuş köfte örneklerinde tespit edildiği belirtilmiştir.

Utrera *et al.* (2014) farklı sığır kasları (*Psoas major*, *Quadriceps femoris* ve *Longissimus dorsi*) kullanarak ürettikleri burger köftelerinin GGS düzeylerinin 54,60 ile 175,18 mmol/mg protein arasında, AAS düzeylerinin ise 94,50 ile 857,61 mmol/mg protein arasında değiştiğini rapor etmişlerdir. Araştırmada, dondurarak depolamanın, AAS ve GGS içeriklerinde önemli artışa yol açtığı ve sığır köftesinden elde edilen proteinlerin oksidatif stabilitesi üzerinde önemli bir etkisinin olduğu bildirilmiştir. Ayrıca protein oksidasyon oluşum düzeyinin kaslar arasında farklılık gösterdiğini de rapor edilmiştir.

Soglia *et al.* (2016) taze ve oksidasyona uğramış etleri materyal olarak kullandıkları araştırmada, karbonil içeriğini farklı yöntemler kullanarak belirlemişlerdir. Araştırmacılar, farklı hayvan etlerinin (tavuk– *Pectoralis major*, domuz – *Longissimus dorsi* ve sığır – *Triceps brachii*) DNPH değerlerinin 0,77 ile 3,57 nmol/mg protein arasında değiştiğini rapor etmişlerdir.

Roldan *et al.* (2014) yaptıkları araştırmada, farklı sıcaklık – zaman kombinasyonları kullanarak gerçekleştirdikleri pişirme işleminin kuzu filetolarının lipit ve protein oksidasyonu üzerine etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar çiğ örneklerdeki AAS ve GGS miktarlarının sırasıyla 0,13 ile 0,02 nmol/mg protein olduğunu belirlerken, pişmiş örneklerde AAS miktarlarının 0,25 ile 0,67 nmol/mg protein arasında, GGS miktarlarının ise 0,05 ile 0,19 nmol/mg protein arasında değiştiğini rapor etmişlerdir. Ayrıca pişmiş örneklerin karbonil içeriklerinin 4,46 ile 9,99 nmol/mg protein arasında değiştiği, çiğ örneğe (2,58 nmol/mg protein) kıyasla karbonil içeriklerinin pişirme işlemi ile önemli ölçüde arttığı bildirilmiştir. Araştırmada, pişirme işleminin, hücrel bölümlendirmenin bozulması, serbest katalitik demirin salınması ve hidroperoksitlerin oluşumu ve bölünmesi gibi birtakım etkilerin neticesinde protein karbonilasyon düzeyini arttırdığı belirtilmiştir.

Silva *et al.* (2016) kurutulmuş tavuk eti üzerine yaptıkları çalışmada, farklı pişirme yöntem ve sürelerinin (ızgara, kavurma, kızartma ve sous-vide) tiyol, triptofan, alkali amino asitlerin oksidasyonu ve protein çapraz bağlanması üzerine etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar, örneklerin toplam AAS ve GGS miktarlarını 3 nmol/mg protein düzeyine kadar belirlemişlerdir. Ayrıca triptofan floresansı, protein karbonilasyonu ve disülfid bağlarının oluşumunun pişirme sıcaklığından etkilendiğini, serbest tiyol grupları, Schiff bazı oluşumu ve sertliğinin ise pişirme süresini etkilediğini bildirmişlerdir. Araştırmada, ısıl işlemin, reaktif oksijen türlerinin üretimini artırarak et ve et ürünlerinin kalitesini olumsuz yönde etkileyebileceği ifade edilmiştir.

Fu *et al.* (2017) *Psoas major* ve *Semimembranosus* kaslarının postmortem olgunlaştırma esnasındaki protein oksidasyonu ve serbest tiyol içeriklerini araştırmışlardır.

Araştırmada, farklı sürelerde depolanan (4 °C'de 10 güne kadar) örneklerin toplam karbonil içeriklerinin 0,43 ile 1,03 nmol/mg protein arasında, serbest tiyol içeriklerinin ise 23,08 ile 30,64 nmol/mg arasında değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca, örneklerin olgunlaşma süresi boyunca toplam karbonil içeriklerinin arttığı belirlenirken, serbest tiyol içeriklerinin ise azaldığı tespit edilmiştir.

Soladoye *et al.* (2017) yaptıkları çalışmada, pastırmada farklı pişirme yöntemleri (mikrodalga ve kızartma) ve depolama sürelerinin (2 ve 28 gün) lipid ve protein oksidasyonu ile heterosiklik aromatik aminler üzerine etkisini incelemişlerdir. Araştırmada, pastırma örneklerinin AAS ve GGS içeriklerinin sırasıyla 31,42 – 75,13 nmol/mg protein ve 4,88 – 6,11 nmol/mg protein arasında değiştiği tespit edilmiştir. Pişirme işlemi ile örneklerin AAS ve GGS içerikleri artarken, 28 gün depolanan pastırma örneklerinin protein oksidasyon değerlerindeki artışın, 2 gün depolanan pastırmalara kıyasla önemli ölçüde daha düşük olduğu bildirilmiştir. Depolamada esnasında belirlenen bu azalışın, depolama işlemi neticesinde protein karbonillerinin olası parçalanmasından kaynaklandığı ifade edilirken, pişirme işlemi ile protein oksidasyon içeriğinin artmasının ise etin pişirilmesi sırasında antioksidan savunma sistemlerinin parçalanması neticesinde serbest radikallerin oluşmasından kaynaklandığı belirtilmiştir.

Mitra *et al.* (2018) tarafından yapılan çalışmada, farklı pişirme işlemleri kullanılarak pişirilen domuz etlerinin AAS ve GGS içerikleri incelenmiştir. Isıl işlem görmemiş örneklerde AAS içeriklerinin 2 ile 4 nmol/mg protein arasında, GGS içeriklerinin 2 ile 3 nmol/mg protein arasında değiştiği belirlenirken, pişmiş örneklerde ise AAS içeriklerinin 6 ile 12 nmol/mg protein arasında, GGS içeriklerinin 3 ile 7 nmol/mg protein arasında değiştiği tespit edilmiştir. Ayrıca araştırmada, yüksek sıcaklıkta pişirme işleminin, antioksidan enzimleri denatüre etmesi nedeniyle oksidasyon düzeyinin artmasına neden olabileceği belirtilmiştir.

Hulánková *et al.* (2018) yaptıkları çalışmada, kuru olgunlaştırma işleminin (1 °C'de 12 – 36 gün) sığır fileto etlerinin enstrümantal, kimyasal ve mikrobiyolojik kalite parametreleri üzerine etkisi incelenmiştir. Uzun süreli olgunlaştırma işleminin, örneklerin pH, L^* , a^* ve b^* değerlerinde önemli bir değişikliğe neden olmadığı, öte yandan sığır etinin olgunlaşmasının yumuşaklık üzerine olumlu bir etkiye sahip olduğu bildirilmiştir.

Öztürk-Kerimoğlu *et al.* (2019) ısıtıl işlem görmüş fermente sosislerin protein oksidasyonunu belirlemek için yaptıkları çalışmada, örneklerin AAS miktarlarının 0,356 – 0,585 nmol/mg protein arasında, GGS miktarlarının ise 0,127 – 0,391 nmol/mg protein arasında değiştiğini rapor etmişlerdir.

Zhang *et al.* (2020) kuru ve yaş olgunlaştırma yaptıkları ($2 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, 0,5 m/s hava sirkülasyon hızı ve $\%75 \pm 5$ bağıl nem) kuzu pirzola etlerini, çeşitli kalite parametreleri, tüketici tarafından kabul edilebilirlik, oksidatif stabilite ve in vitro sindirilebilirlik açısından incelemişlerdir. Araştırmacılar, farklı koşullar altında 21 gün boyunca kuru ve yaş olarak olgunlaştırdıkları kuzu pirzola etlerinin karbonil içeriklerini sırasıyla 2,31 nmol/mg protein ve 2,20 nmol/mg protein olarak belirlerken, TBARS değerini sırasıyla 1,30 mg MDA/kg et ve 0,38 mg MDA/kg et olarak rapor etmişlerdir. Ayrıca iki olgunlaştırma yönteminde de pH değerlerinin önemli ölçüde arttığı ve bu artışın proteoliz yoluyla nitrojenli bileşiklerin üretiminden kaynaklandığı belirtilmiştir.

Aşçıoğlu (2021) tarafından yapılan çalışmada, kuru ve yaş olgunlaştırma işlemlerinin ($1,5 \pm 2^{\circ}\text{C}$, $\%81 \pm 12$) *Longissimus lumborum* kasının bazı kalite kriterleri üzerine etkisi incelenmiştir. Kuru olgunlaştırılan örneklerde toplam karbonil ve tiyol miktarları sırasıyla 1,37 $\mu\text{mol/g}$ protein ve 289,08 $\mu\text{mol/g}$ protein olarak belirlenirken, yaş olgunlaştırma yapılan örneklerde ise sırasıyla 1,46 $\mu\text{mol/g}$ protein ve 304,41 $\mu\text{mol/g}$ protein olarak tespit edilmiştir. Kuru ve yaş olgunlaştırma işlemine tabi tutulan örneklerin kontrol grubuna kıyasla karbonil içeriklerinin arttığı ve olgunlaştırma süresinin karbonil içeriği üzerine önemli etkisinin olduğu bildirilmiştir.

Ma *et al.* (2021) *Quadriceps femoris* kaslarını doğal havalandırma koşulları altında farklı sürelerde (40 güne kadar) kurutma işlemine tabi tutmuşlardır. Araştırmada, kurutma işleminin ardından örneklerin nem içeriğinin $\%74,6$ 'dan $\%9,8$ 'e düştüğü, peroksit değerinin 15 güne kadar kademeli olarak arttığı (1,76 mmol/kg kadar) ardından azaldığı, TBARS değerinin depolama boyunca arttığı ve 0,69 mg/kg ulaştığı ve pH değerinin ise 5,39 – 5,73 arasında değiştiği belirlenmiştir. Protein oksidasyon göstergelerinden olan karbonil içeriğinin depolama süresi boyunca 8,11 nmol/mg protein düzeyine kadar arttığı da tespit edilmiştir.

Wang *et al.* (2022), kuru olgunlaştırma (4°C , $\%75$ nispi rutubet ve minimum hava sirkülasyon hızı $<0,2$ m/s, 48 saat boyunca) ve pişirme işlemleri uygulanan domuz *Longissimus lumborum* kasında, olgunlaştırma süresi boyunca protein oksidasyon düzeyinin 0,89 mmol/mg protein düzeyine kadar arttığını belirlemişlerdir. Araştırmada örneklerin toplam sülfidril içeriklerinin azaldığı, pH değerlerinin ise arttığı bildirilmiştir. Ayrıca SDS-PAGE profili açısından olgunlaştırma süresinin artması ile tüm bantların yoğunluklarının çeşitli derecelerde azaldığı ve postmortem olgunlaştırmının miyofibriler proteinlerin bozulması üzerine önemli etkisinin olduğunu bildirilmiştir.

Vallejo-Torres *et al.* (2023) farklı ambalajlama (vakum ve yüksek oksijenli modifiye atmosfer) işlemlerine tabi tuttukları sığır eti köftelerinin (taze, soğutulmuş ve pişirilmiş)

çeşitli kalite kriterleri (TBARS, renk, triptofan, sertlik) ile AAS ve GGS düzeylerini incelemişlerdir. Araştırmada, analiz edilen örneklerin en yüksek toplam AAS ve GGS içeriğinin yaklaşık 60 nmol/mg protein olduğu rapor edilmiştir. Örneklerin buzdolabında muhafazası sırasında protein karbonil içeriklerinin artmadığı, pişirme işleminin ise önemli miktarda protein karbonil oluşumuna neden olduğu belirtilmiştir.

Polak *et al.* (2023) *Longissimus lumborum* kasının materyal olarak kullanıldığı araştırmada, farklı sürelerde (21 güne kadar) olgunlaştırılan ($2 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de) örneklerin pişirme işlemi neticesinde (75°C 'de 1 saat boyunca sous-vide metodu) çeşitli kalite parametreleri (pH, ağırlık kaybı, renk ve tekstür) ile protein oksidasyon düzeyini incelemişlerdir. Araştırmada, olgunlaştırma boyunca örneklerin pH, ağırlık kaybı ve protein karbonil içeriklerinin arttığı ve toplam karbonil içeriklerinin 3,98 ile 6,22 nmol/mg protein arasında değiştiği rapor edilmiştir.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Sığır eti

Araştırmada, Erzurum Et ve Süt Kurumu'nda gerçekleştirilen kesim sonrası bir gün süreyle dinlendirilmiş üç farklı erkek sığır (yaklaşık 24 aylık) karkaslarına ait *M. Longissimus thoracis et lumborum* kasları (sağ ve sol) materyal olarak (yaklaşık 9 kg) kullanılmıştır. Kas temininde seçilen karkasların aynı ırk ve cinsten olmasına dikkat edilmiştir.

Kimyasallar

Mevcut araştırmada kullanılan kimyasal maddeler Sigma – Aldrich, Merck, Bostonchem ve Carlo Erba firmalarından temin edilmiştir. Kimyasal maddelerin analitik veya kromatografik kalitede olmalarına özen gösterilmiştir.

Metot

Kuru olgunlaştırma işlemi

Soğuk zincir altında laboratuvara getirilen et parçalarının yüzeyindeki fazla yağ ve bağ dokuları ile sinir parçaları uzaklaştırıldıktan sonra her biri aynı büyüklükte olacak şekilde ikiye bölünmüş ve kuru olgunlaştırma prosesinde kullanılmak üzere her bir karkastan toplamda 4 adet parça et elde edilmiştir. Elde edilen et parçalarından biri kontrol grubu olarak (0. gün) kullanılmış, diğer iki parça ise $2 \pm 0,5$ °C'de, 75 ± 1 % nem ve $0,2 \pm 0,05$ m/s hava sirkülasyonu koşullarında (POL-EKO-APARATURA, KKS115) 30 güne kadar herhangi bir ambalaj/kaplama materyali ile kaplanmadan olgunlaştırılmıştır (Berger *et al.* 2018). Olgunlaştırmanın ilk günü (0. gün, hammadde) ile 15. ve 30. günlerinde örneklerde belirtilen analizler yapılmıştır.



0. gün

15. gün

30. gün

Şekil 3. Hammadde ve farklı sürelerde kuru olgunlaştırılmış etler

Ağırlık kaybı ve tıraşlama kaybının belirlenmesi

Örneklerin ağırlık kayıpları (%), olgunlaşma öncesi ve sonrası ağırlıkların belirlenmesi ile hesaplanmıştır. Olgunlaştırma işleminden sonra örneklerin koyu, kuru ve lekelenmiş kısımları uzaklaştırıldıktan sonra tartılarak tıraşlama kaybı (%) da hesaplanmıştır (DeGeer *et al.* 2009).

Kurumadde analizi

Örneklerin kurumadde içerikleri Gökalp vd. (2010)'e göre belirlenmiştir. Analiz 10 g örneğin 102 °C'lik kurutma fırınında sabit tartım elde edilinceye kadar kurutulması ile belirlenmiştir.

pH analizi

Et örneklerinin pH değerleri Gökalp vd. (2010)'e göre belirlenmiştir. Ultraturax (IKA Werk T 25, Germany) yardımı ve su eşliğinde et örneklerinin (1:10, w/v) homojenizasyon işleminden sonra kalibre edilmiş olan pH-metre (Mettler Toledo, S210-K) ile pH değerleri belirlenmiştir.

Ham protein analizi

Ham protein analizi Gökalp vd. (2010) tarafından verilen Kjeldahl metodu ile belirlenmiştir. Kısaca; Kjeldahl balonuna tartılan 1,5 g örnek üzerine 25 ml H₂SO₄ ilave edilmiş ve uygun katalizörler eşliğinde yakma ünitesinde yakılmıştır. Yakma işlemi, balon içerisinde sabit bakır sülfat rengi oluştuğunda sonlandırılmış ve balonlar soğumaya bırakılmıştır. Soğutulmuş balonların üzerine saf su (400 ml) ve indikatörlü borik asit (50 ml) ilave edilmiş ve distilasyon ünitesine alınmıştır. Toplam distilat hacmi 250 ml oluncaya kadar distilat toplanmış ve 0,1 N HCl ile titre edilmiştir. Titrasyon pembe renk elde edilince sonlandırılmış ve harcanan miktardan % azot miktarı hesaplanmış, ardından 6,25 faktörü ile çarpılarak ham protein içeriği (%) tespit edilmiştir.

Renk analizi

Örneklerin renk parametreleri, Konica Minolta CR-400 kolorimetre cihazı kullanılarak belirlenmiştir. L^* , a^* , b^* ve ΔE değerleri üç paralelli olarak okunarak CIELAB (Commision Internationale de l'Eclairage) tarafından belirlenen kriterlere göre tespit edilmiştir.

$$\Delta E = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}$$

Miyofibriler proteinlerin Sodyum Dodesil Sülfat Poliakrilamid Jel Elektrophorez (SDS-PAGE) profil analizi

Örneklerin miyofibriler proteinlerinde gerçekleşen değişimler, SDS-PAGE yöntemi ile belirlenmiştir. Bu kapsamda, Molina and Toldra (1992) tarafından verilen ve Öz (2018) tarafından modifiye edilen yöntem esas alınmıştır. Kısaca, numuneler 1:10 (w/v) oranında 30 mM fosfat tamponu (pH 7,4) içerisinde ultraturrax ile homojenize edilmiş ve santrifüjlenmiştir (20 dakika, 10000 g, 4 °C). Elde edilen süpernatant cam yününden süzölmüş ve bu işlem 2 kez tekrar edilmiştir. Ardından pellet, 9 hacim 100 mM fosfat tamponu (pH 7,4) ile homojenize edilmiş ve tekrar santrifüjlenmiştir (20 dakika, 10000 g, 4 °C). Süpernatant, miyofibriler protein fraksiyonu olarak toplanmış ve kullanılıncaya kadar 4 °C’de muhafaza edilmiştir.

Bradford ayırıcı ve sığır serum albümini kullanılarak örneklerin miyofibriler protein miktarı, belirlenmiştir. Bu amaçla numuneler, 50 mM Tris tamponu ile karıştırılmış (1:1 v/v, pH 6,8) ve 100 °C’de 5 dakika süreyle bekletilmiştir. Miyofibriler proteinlerin ayırımında farklı oranlarda yükleme jeli (%5’lik, pH 6,8) ile ayırma jeli (%12’lik, pH 8,8) kullanılmış ve jel kuyularına her bir muamele grubuna ait örneklerden 10 µL enjekte edilmiştir. Numuneler 100 V’de yürütölmüştür. Elektrophorezde yürütme işlemi tamamlanmasından sonra jel, Coomassie boyama çözeltisiyle boyanmış ve boyama işlemini takiben jel arka planı netleşene kadar, yıkama solüsyonu kullanılarak boyadan arındırılmıştır. Ardından protein bantlarının moleköl ağırlıkları, protein standart karışımı (Bio-Rad, Broad Range, 10-200 kDA, ABD) kullanılarak belirlenmiş ve Image lab 6.0 (Bio-Rad) programı ile incelenmiştir.

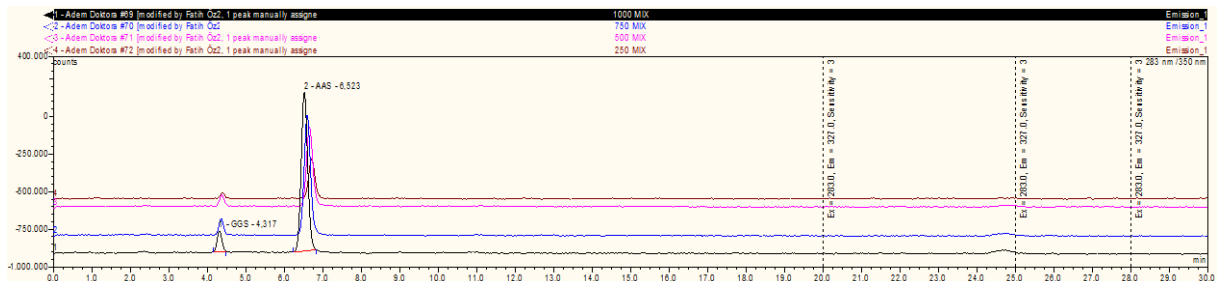
Toplam karbonil miktar (DNPH) analizi

Örneklerin toplam karbonil miktarı, DNPH (2,4-dinitrofenilhidrazin) metodunda bazı değişiklikler yapılarak belirlenmiştir (Cheng *et al.* 2018). Kısaca, 1 g örnek 10 ml KCl (0,15 M) ile homojenize edildikten sonra karışımdan 150 µl alınarak iki farklı tüpe konmuştur. Tüplere 1 ml %10’luk TCA eklendikten sonra santrifüjlenmiştir (4 °C, 5000 g, 5 dakika). Santrifüj edilen örneklerden birine 1 ml 2 M ‘lık HCl (kör olarak kullanılan), ikincisine ise 1 ml 2 M HCl içerisinde hazırlanan DNPH (%0,2’lik) (örnek olarak kullanılan) çözeltisi eklenmiştir. Hazırlanan örnekler bir saat süreyle inkübe edilmiş ve ardından 1 ml TCA (%20’lik) ile muamele edilmiştir. Daha sonra numuneler berrak renk oluşuncaya kadar yıkama (etanol:etilasetat, 1:1, 1 ml) ve santrifüjleme (5000 g, 2 dakika) işlemlerine tabi tutulmuştur. Son olarak elde edilen pelletler 2 ml guanidin HCl çözeltisi ile muamele edilerek spektrofotometrede (370 nm) okunmuş ve karbonil miktarı nmol karbonil/mg protein olarak

belirlenmiştir. Numunelerin protein konsantrasyonu ise sığır serum albümininin standart olarak kullanılması ve 280 nm’de absorbansının okunması ile tespit edilmiştir.

Spesifik protein oksidasyon ürünlerinin analizi

α -aminoadipik semialdehit (AAS) ve γ -glutamik semialdehit (GGS) et ve et ürünlerinde yaygın olarak kabul edilen spesifik protein oksidasyon ürünleridir. Bu spesifik ürünlerin analizleri Utrera *et al.* (2011)’e göre yapılmıştır. Kısaca, kıyma haline getirilen 1 g örnek, 10 ml 10 mM fosfat tamponu (0,6 M tuz içeren, pH 6,5) ile homojenize edilmiş ve tüplere 100 μ l aliquat alınmış ve TCA (%10’luk) ile muamele işlemine tabi tutulduktan sonra santrifüj edilmiştir (4°C, 2000 g, 30 dakika). Aynı işlem iki kere tekrar edildikten sonra protein karbonilleri; 2-(N-morpholino)etansulfonik asit (MES tampon, %1 sodyum dodesil sülfat ve 1 mM dietilen triaminpentaasetik asit, p(4)-amino benzoik asit ve sodyum siyanoborohidrit içeren) ile türevlendirilmiştir (37 °C, 90 dakika). Ardından TCA (%50) ile santrifüj edilerek (4 °C, 5000 g, 5 dakika) türevlendirme işlemi sonlandırılmıştır. Pelletler yıkanmış (etanol:dietileter, 1:1, 1 ml, 2 kere), santrifüj edilerek (4°C, 5000 g, 5 dakika) HCl ile ısıtıl işlem eşliğinde (110°C, 12 saat) proteinler hidrolize edilmiştir. Kurutma işleminden sonra pürifiye su eklenmiş, filtre edildikten (0,45 μ m) sonra HPLC’de floresans dedektör kullanılarak analiz edilmiştir. Solvent A olarak sodyum asetat tamponu (50 mM, pH 5,4) ve Solvent B olarak ise asetonitril (%100) kullanılmıştır. Enjeksiyon hacmi 1 μ l, akış hızı 1 ml/dk, kolon sıcaklığı 30°C, dalga boyları 283 – 350 nm olarak ayarlanmış ve kolon olarak Cosmosil C18-AR-II RP-HPLC kolon (5 μ m, 150 x 4,6 mm) kullanılmıştır. Floresans dedektör kromatogramlarında türevlendirilmiş spesifik protein oksidasyon ürünlerinin (AAS ve GGS) tanımlanması, yukarıda belirtilen koşullar altında yürütülen standart bileşiklerin tutma süreleri (Rt) karşılaştırılarak gerçekleştirilmiştir. GGS ve AAS standartlarına ait mix stok solüsyonu HPLC kromatogramı Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. GGS ve AAS standartlarına ait mix stok solüsyonu

İstatistiksel analiz

Araştırmada analizler üç tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiş ve olgunlaştırma süresi faktör olarak seçilmiştir. Elde edilen ortalamaların karşılaştırılması için varyans analizi (One-Way ANOVA) uygulanmıştır. Muamele grupları arasındaki farklılıkların değerlendirilmesinde SPSS 25.0 paket programı kullanılmış ve veriler arasındaki farklılıkların değerlendirilmesinde Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır.



ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Etlerin Ağırlık ve Tıraşlama Kayıpları

Kuru olgunlaştırma işlemi esnasında etlerde bir kuruma ve yüzeylerinde bir kabuk oluşumu gerçekleşmektedir. Tüketim öncesinde, etin yüzeyinde oluşan bu kabuğun uzaklaştırılması gerekmektedir. Mevcut araştırmada, Erzurum Et ve Süt Kurumu Et Kombinasi'ndan temin edilen ve materyal olarak kullanılan *M. Longissimus thoracis et lumborum* kasından elde edilen etler, belirli parametreler altında ($2\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$, $\%75 \pm 1$ nem ve $0,2 \pm 0,05$ m/s hava sirkülasyon hızı) kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan etlerin ağırlık ve tıraşlama kayıpları Tablo 1'de verilmiştir. Belirtilen koşullar altında 15 gün kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan etlerin ağırlık kayıpları $\%30,00$ ile $31,10$ arasında değişirken, 30 gün kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan etlerde ise beklenildiği gibi artarak $\%47,00$ ile $47,14$ arasında değişiklik göstermiştir. Belirtilen koşullar altında 15 gün kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan etlerin tıraşlama kayıpları $\%15,00$ ile $15,83$ arasında değişirken, 30 gün kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan etlerde ise beklenildiği gibi artarak $\%23,00$ ile $23,32$ arasında değişiklik göstermiştir. Olgunlaştırma işlemi neticesinde etlerde görülen ağırlık kayıpları, etlerde görülen nem dehidrasyonu nedeniyle.

Tablo 1. Farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin ağırlık ve tıraşlama kayıpları (%)

	Muamele	I	II	III
Ağırlık kaybı (%)	15. Gün	30,55	30,00	31,10
	30. Gün	47,00	47,14	47,07
Tıraşlama kaybı (%)	15. Gün	15,00	15,83	15,73
	30 .Gün	23,00	23,32	23,16

Farklı sürelerde (15 ve 30 gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin ağırlık ve tıraşlama kayıplarına ait varyans analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Olgunlaştırma süresinin etlerin ağırlık ve tıraşlama kayıpları üzerine çok önemli ($p<0,01$) etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Tablo 2. Farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin ağırlık ve tıraşlama kayıplarına ait varyans analiz sonuçları

Analiz	Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F
Ağırlık kaybı	Muamele	2	409,366	2663,407**
	Hata	4	0,154	
Tıraşlama kaybı	Muamele	2	87,554	758,375**
	Hata	4	0,115	

SD: Serbestlik Derecesi, KO: Kareler Ortalaması, **: $p < 0,01$

Olgunlaştırma süresinin örneklerin ağırlık ve tıraşlama kayıpları üzerine olan etkisinin Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları Tablo 3’de verilmiştir. Farklı sürelerde (15 ve 30 gün) kuru olgunlaştırılmış örneklerin ağırlık kayıplarının %30,55 ile 47,07 arasında, tıraşlama kayıplarının ise %15,52 ile 23,16 arasında değiştiği belirlenmiştir. Araştırmada, beklenildiği gibi, olgunlaştırma süresi ilerledikçe, örneklerin ağırlık ve tıraşlama kayıplarının istatistiksel olarak önemli düzeyde arttığı tespit edilmiştir. Mevcut araştırmada elde edilen ağırlık kaybı verilerine benzer olarak, Aşçıoğlu (2021) tarafından yapılan çalışmada da, 28 güne kadar kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan etlerin ağırlık kayıplarının %29,93 ile 47,35 arasında, tıraşlama kayıplarının ise %10,85 ile 25,06 arasında değiştiği ve istatistiksel olarak anlamlı farklılıkların olduğu rapor edilmiştir. Shi *et al.* (2020) da yaptıkları çalışmada, 14 güne kadar kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan sığır etlerinin ağırlık kayıplarının 7. günde %28,93’e, 14. günde %39,95’e ulaştığını ve ağırlık kayıpları arasında istatistiksel olarak önemli farklılığın bulunduğunu bildirmişlerdir. Aynı araştırmada, sığır etlerinin tıraşlama kayıplarının 7. günde %12,43’e, 14. günde %21,73’e ulaştığı ve ağırlık kayıpları arasında istatistiksel olarak önemli farklılığın bulunduğu da bildirilmiştir. Obuz *et al.* (2014) ise yaptıkları çalışmada, kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan bifteklerin tıraşlama kayıplarının (yaklaşık %25’e kadar), yaş olgunlaştırma işlemine tabi tutulan bifteklerin tıraşlama kayıplarından (yaklaşık %5’e kadar) fazla olduğunu rapor etmişlerdir. Öte yandan, literatürde kuru olgunlaştırma işleminin daha düşük ağırlık kaybına neden olduğunu gösteren çalışmalar da bulunmaktadır. Nitekim, Berger *et al.* (2018) 28 gün boyunca kuru olgunlaştırılan kemikli sığır filetolarının ağırlık kaybını %13,9 olarak hesaplamışlardır. Araştırmacıların belirledikleri düşük ağırlık kaybının ana nedeninin, olgunlaştırma işleminde kemikli et kullanımı olduğu düşünülmektedir.

Tablo 3. Farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin ağırlık ve tıraşlama kayıplarına ait ortalama sonuçların Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları

Muamele	n	Ağırlık kaybı (%) $\pm$ SS	Tıraşlama kaybı (%) $\pm$ SS
15. gün	3	30,55 $\pm$ 0,55b	15,52 $\pm$ 0,45b
30. gün	3	47,07 $\pm$ 0,07a	23,16 $\pm$ 0,16a

SS: Standart sapma

Kuru olgunlaştırma işlemi, önemli miktarda su buharlaşmasına neden olmakta ve ardından artan kuru yüzey nedeniyle et parçalarının yüzeyinde bir kabuk tabakası meydana gelmektedir (Berger *et al.* 2018). Oluşan bu kabuk tabakası, bu etlerin kullanımı ve/veya tüketimi öncesinde tıraşlanarak uzaklaştırılmaktadır. Literatürde görülen ağırlık ve tıraşlama kayıplarının genel olarak benzer olduğu görülmektedir. Ancak aradaki farklılıkların; kas tipi, etin kemikli olma durumu, olgunlaştırma yöntemi, olgunlaştırma parametreleri (sıcaklık, bağıl nem, hava akışı, olgunlaştırma süresi vb.) vb. faktörlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Etlerin Kurumadde İçerikleri

Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin kurumadde içerikleri Tablo 4’de verilmiştir. Mevcut araştırmada materyal olarak kullanılan örneklerin (kontrol grubu) %24,36 ile 25,96 arasında değişen kurumadde içeriklerinin olgunlaştırma süresince beklenildiği gibi oransal olarak arttığı ve 30 gün kuru olgunlaştırılmış etlerde %47,65’e kadar yükseldiği belirlenmiştir. Bu durum, belirtilen olgunlaştırma koşullarında etlerin su içeriklerinin azalmasının bir sonucudur.

Tablo 4. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin kurumadde içerikleri (%)

Muamele	I	II	III
Hammadde	25,96	24,36	24,71
15. Gün	38,86	39,75	38,45
30. Gün	45,81	47,65	44,58

Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin kurumadde içeriklerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 5’de verilmiştir. Olgunlaştırma süresinin etlerin kurumadde içerikleri üzerine çok önemli ($p<0,01$) etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Tablo 5. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin kurumadde içeriklerine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F
Muamele	2	343,163	291,110**
Hata	6	1,179	

SD: Serbestlik Derecesi, KO: Kareler Ortalaması, **: $p < 0,01$

Olgunlaştırma süresinin örneklerin kurumadde içerikleri üzerine olan etkisinin Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları Tablo 6’da verilmiştir. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış örneklerin kurumadde değerlerinin %25,01 ile 46,01 arasında değiştiği belirlenmiştir. Araştırmada en düşük kurumadde içeriği; olgunlaştırma işlemine tabi tutulmayan kontrol grubu örneklerde (hammadde) belirlenirken, en yüksek kurumadde içeriği 30 kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan et örneklerinde tespit edilmiştir. Ayrıca yapılan istatistiksel değerlendirme neticesinde, olgunlaştırma süresi ilerledikçe örneklerin kurumadde içeriklerinin önemli düzeyde arttığı görülmüştür. Kuru olgunlaştırma işlemi boyunca, etlerin kurumadde içeriklerindeki oransal artışın ya da diğer bir ifadeyle su içeriklerindeki azalmanın nedeni, kuru olgunlaştırma işlemi esnasında suyun et yüzeyinden evapore olmasına dayandırılmaktadır (Terjung *et al.* 2021). Bu sonuca, kas hücreleri içindeki sarkoplazmik bölgede bulunan serbest suyun, kuru olgunlaştırma sırasında kolayca hareket edebilmesi etki etmektedir. Kuru olgunlaştırma nedeniyle yüzeyin dehidrasyonu, et yüzeyinde düşük konsantrasyonda su içeren bir bölge oluşturmaktadır (Ribeiro *et al.* 2021). Fick’in birinci difüzyon yasasını takiben su, konsantrasyon değişimi ile orantılı bir şekilde, yüksek konsantrasyonlu bölgelerden düşük konsantrasyonlu bölgelere doğru transfer olmaktadır. Böylelikle serbest su, iç kısımdan et yüzeyine transfer olmakta ve ardından evapore olarak ortama yayılmaktadır (Ribeiro *et al.* 2021). Aslında yaş olgunlaştırma esnasında da etlerde su kaybının olduğu, ancak bu kaybın, kuru olgunlaştırma işlemindeki kadar yüksek değerlere ulaşmadığı rapor edilmiştir (Terjung *et al.* 2021). Ette kuruma işleminin iki aşamada gerçekleştiği belirtilmektedir (Lewicki 2004). İlk aşamada, etin serbest suyu, etin iç kısmından etin yüzeyine difüzyon ve kapiler akış ile transfer olmakta, ikinci aşamada ise su, et yüzeyinde evapore olmakta ve eti çevreleyen havaya buhar olarak transfer olmaktadır. Bu durum, konvektif kütle transferidir (Lewicki 2004). Konvektif kütle transferinin nispi rutubet, hava sirkülasyon hızı, sıcaklık ve ürünün şekline bağlı olduğu belirtilmektedir. Kuru olgunlaştırılmış sığır etinde su taşınımı, iç ve dış olmak üzere iki kütle transfer direncine bağlıdır. İç kütle transfer direnci, etin iç sıcaklığı ve pH, proteoliz ve kas hücre yapısını içeren birçok faktörden etkilenebilen etkili su difüzyon katsayısına (difüzyon ve kapiler akış) bağlıdır. Dış kütle transfer direnci ise konvektif kütle transferinden sorumludur. Hem dahili

hem de harici kütle transfer dirençleri arasındaki ilişki kuruma işleminin hızına etki etmektedir. Ayrıca postmortem olgunlaştırma sırasında proteoliz, proteaz-inhibitör aktivasyonu ve protein oksidasyonu gibi çeşitli biyokimyasal değişiklikler meydana gelmektedir. Bu değişiklikler, su tutma kapasitesi ve etin gevrekliği ile ilişkili olan miyofibriler proteinlerin degradasyonunu etkileyebilmektedir. Nitekim, Smith *et al.* (2008) de kuru olgunlaştırılmış etlerde olgunlaşma süresine bağlı olarak su kaybında artış gözlemlediklerini bildirmişlerdir. Belirtilen bu hususların; etin kurumadde içeriği üzerine doğrudan etki etmesinin yanı sıra çeşitli kalite parametreleri üzerine de etkileri bulunmaktadır (Lewicki 2004; Ribeiro *et al.* 2021).

Tablo 6. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin kurumadde içeriklerine ait ortalama sonuçların Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları

Muamele	n	Kurumadde (%) $\pm$ SS
Hammadde	3	25,01 $\pm$ 0,84c
15. Gün	3	39,02 $\pm$ 0,67b
30. Gün	3	46,01 $\pm$ 1,55a

Demircioğlu (2011) farklı sürelerde (0, 7, 14, 21 ve 28 gün) kuru olgunlaştırılan (1,0 °C, %83 nispi rutubet) et örneklerinin (kontrfile, antrikot ve döş) kurumadde içeriklerinin olgunlaştırma süresince arttığını ve olgunlaştırma süresinin kurumadde içeriği üzerine istatistiksel olarak çok önemli etkisinin olduğunu rapor etmiştir. Benzer şekilde, Obuz *et al.* (2014) farklı sürelerde kuru olgunlaştırılan et örneklerinin kurumadde içeriklerinin olgunlaştırma süresi boyunca arttığını ve istatistiksel olarak önemli farklılıkların olduğunu bildirmişlerdir. Aşçıoğlu (2021), kuru ve yaş olgunlaştırma işlemi uyguladıkları örneklerin kontrol numunelerinde yaklaşık %75 olan su içeriğini, kuru olgunlaştırma sonucunda %58,98, yaş olgunlaştırma sonucunda ise %67,51 olarak belirlemiş ve olgunlaştırma yöntemi ve olgunlaştırma süresinin örneklerin kurumadde içeriklerini önemli ($p < 0,05$) düzeyde etkilediğini bildirmiştir. Benzer şekilde Dikeman *et al.* (2013) 21 gün boyunca olgunlaştırılan *Longissimus lumborum* kasından elde ettikleri etin kurumadde içeriğinin kontrol grubu ete kıyasla arttığını bildirmişlerdir. Berger *et al.* (2018) ise farklı olgunlaştırma teknikleri kullanarak olgunlaştırılan örneklerin kurumadde içeriklerinin %27,45 ile 31,13 arasında değiştiğini ve istatistiksel olarak önemli farklılıkların bulunduğunu rapor etmişlerdir.

Etlerin pH Değerleri

Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin pH değerleri Tablo 7’de verilmiştir. Mevcut araştırmada materyal olarak kullanılan örneklerin (kontrol grubu) 5,58 ile 5,59 arasında değişen pH değerlerinin olgunlaştırma süresince

beklenildiği gibi arttığı ve 30 gün süreyle kuru olgunlaştırılmış etlerde 5,75'e kadar yükseldiği belirlenmiştir.

Tablo 7. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin pH değerleri

Muamele	I	II	III
Hammadde	5,58	5,59	5,58
15. Gün	5,70	5,69	5,70
30. Gün	5,75	5,74	5,75

Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin pH değerlerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 8'de verilmiştir. Olgunlaştırma süresinin etlerin pH değerleri üzerine çok önemli ($p<0,01$) etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Tablo 8. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin pH değerlerine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F
Muamele	2	0,021	630,333**
Hata	6	3,333E-5	

SD: Serbestlik Derecesi, KO: Kareler Ortalaması, **: $p<0,01$

Olgunlaştırma süresinin örneklerin pH değerleri üzerine olan etkisinin Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları Tablo 9'da verilmiştir. Hammadde ve farklı sürelerde kuru olgunlaştırılmış örneklerin pH değerlerinin 5,58 ile 5,75 arasında değiştiği belirlenmiştir. Araştırmada en düşük pH değeri; olgunlaştırma işlemine tabi tutulmayan kontrol grubu örneklerde (hammadde) belirlenirken, en yüksek pH değeri 30 gün boyunca kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan et örneklerinde tespit edilmiştir. Ayrıca yapılan istatistiksel değerlendirme neticesinde, olgunlaştırma süresi ilerledikçe örneklerin pH değerlerinin önemli düzeyde arttığı görülmüştür. Kuru olgunlaştırma işlemi boyunca, etlerin pH değerlerindeki artışın olgunlaştırma işlemi esnasında gerçekleşen proteoliz sonucu açığa çıkan bazik karakterdeki bileşikler nedeniyle olduğu belirtilmektedir (Aksu *et al.* 2005; Obuz *et al.* 2014; Öz 2018). Ayrıca et proteinlerinin deaminasyonu ve bakteri metabolitlerinin akümüasyonu da özellikle uzun süreli olgunlaştırma işlemlerinde pH artışını hızlandıran faktörler olarak değerlendirilebilir (Bekhit and Fausman 2005).

Tablo 9. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin pH değerlerine ait ortalama sonuçların Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları

Muamele	n	pH $\pm$ SS
Hammadde	3	5,58 $\pm$ 0,01c
15. gün	3	5,70 $\pm$ 0,01b
30. gün	3	5,75 $\pm$ 0,01a

Ahnström *et al.* (2006) yaptıkları çalışmada, 5,4 başlangıç pH değerine sahip etlerin 14 ve 21 gün olgunlaştırma işlemi (2,5 °C ve % 87 nispi rutubet) sonrası pH değerlerinin sırasıyla 5,5 ve 5,7'ye yükseldiğini ve olgunlaştırma süresinin örneklerin pH değeri üzerine istatistiksel olarak önemli ($p<0,05$) etkisinin bulunduğunu rapor etmişlerdir. Obuz *et al.* (2014) farklı sürelerde (2 ve 23 gün) olgunlaştırılan (2,2 °C) *Longissimus lumborum* kasından elde ettikleri etlerin pH değerlerinin olgunlaştırma süresi boyunca arttığını ve kuru olgunlaştırma işlemi sonrasında belirledikleri pH değerinin (5,47) yaş olgunlaştırma sonrasında belirledikleri pH değerinden (5,45) anlamlı düzeyde ($p<0,05$) yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Öte yandan, Kim *et al.* (2016) farklı kuru olgunlaştırma parametreleri kullanarak yaptıkları çalışmada, örneklerin olgunlaştırma süresi boyunca pH değerlerinin arttığını, ancak genellikle ne olgunlaştırma türü (kuru ve yaş olgunlaştırma) ne de farklı kuru olgunlaştırma şartlarının (sıcaklık (1 ve 3 °C), nispi rutubet (%49, 55, 73 ve 76) ve hava sirkülasyon hızı (0,2 ve 0,5 m/s)) sığır filetosunun pH değerini anlamlı düzeyde etkilemediğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar, 2 gün süre boyunca kuru olgunlaştırılan örneklerin pH değerlerinin 5,52 ile 5,53 arasında, 23 gün süre boyunca kuru olgunlaştırılan örneklerin pH değerlerinin ise 5,60 ile 5,64 arasında değiştiğini bulmuşlardır. Benzer şekilde, Aşçıoğlu (2021) tarafından yapılan başka bir çalışmada, 28 gün boyunca kuru olgunlaştırılan (1,5 °C, %81 nispi rutubet) etlerin pH değerinin (5,75), başlangıç pH değerine (5,60) göre yüksek olduğu, ancak olgunlaştırma süresinin pH değeri üzerine istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olmadığı rapor edilmiştir. Öte yandan, mevcut araştırmamızın ve yukarıda belirtilen araştırmaların aksine, kuru olgunlaştırma işleminin etin pH değerini başlangıçtaki pH değerine kıyasla azalttığını gösteren çalışmalar da literatürde bulunmaktadır. Nitekim, Berger *et al.* (2018), 5,89 başlangıç pH değerine sahip etlerin 28 gün boyunca kuru olgunlaştırma işleminin (2 °C, %78 nispi rutubet, <0,2 m/s) ardından 5,79 pH değerine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Atış Karaduman (2018), kuru olgunlaştırma işleminin taze sığır etlerinin (bonfile, nuar ve kaburga eti) pH değeri üzerine etkisini belirlemek için yaptığı çalışmada, kuru olgunlaştırma işleminin etlerin pH değerinde genellikle artışa neden olduğunu bulmuştur. Araştırmacı, 0. günde 5,45 ile 5,75 arasında değişen pH değerinin 28 gün

olgunlaştırma neticesinde 5,58 ile 5,95 arasında değiştiğini bildirmiştir. Literatürde konu ile ilgili yapılan çalışmalarda, olgunlaştırma işleminin örneklerin pH değerleri üzerine farklı etkilerinin belirlenmesinde, çalışmada kullanılan et tipi, olgunlaştırma parametrelerinin (sıcaklık, bağıl nem, hava sirkülasyon hızı, olgunlaştırma süresi vb.) gibi faktörlerin etki ettiği düşünülmektedir.

Etlerin Protein Miktarı

Proteinler kas dokusunun ana bileşeni olmasının yanı sıra et ve ürünleri için duyuşal, besleyici ve teknolojik özellikler bakımından oldukça önemlidir (Estevez 2011). Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin protein miktarları Tablo 10'da verilmiştir. Mevcut araştırmada materyal olarak kullanılan örneklerin (hammadde) %20,98 ile 21,32 arasında değişen protein miktarlarının olgunlaştırma süresince beklenildiği gibi oransal olarak arttığı ve 30 gün süre boyunca olgunlaştırılmış etlerde %27,78'e kadar yükseldiği belirlenmiştir. Bu durum, belirtilen olgunlaştırma koşullarında etlerin su içeriklerinin azalması neticesinde kurumadde içeriğinde görünen oransal artışın bir sonucudur (Lee *et al.* 2017; Berger *et al.* 2018).

Tablo 10. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin protein miktarları (%)

Muamele	I	II	III
Hammadde	21,32	21,06	20,98
15. Gün	27,30	26,75	26,99
30. Gün	27,38	27,57	27,78

Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin protein miktarlarına ait varyans analiz sonuçları Tablo 11'de verilmiştir. Olgunlaştırma süresinin etlerin protein miktarları üzerine çok önemli ($p<0,01$) etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Tablo 11. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin protein miktarlarına ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F
Muamele	2	38,369	779,498**
Hata	6	0,049	

SD: Serbestlik Derecesi, KO: Kareler Ortalaması, **: $p<0,01$

Olgunlaştırma süresinin örneklerin protein miktarları üzerine olan etkisinin Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları Tablo 12'de verilmiştir. Hammadde ve farklı sürelerde kuru

olgunlaştırılmış örneklerin protein miktarlarının %21,12 ile 27,58 arasında değiştiği belirlenmiştir. Araştırmada en düşük protein miktarı; olgunlaştırma işlemine tabi tutulmayan kontrol grubu örneklerde (hammadde) belirlenirken, en yüksek protein miktarı 30 gün boyunca kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan et örneklerinde tespit edilmiştir. Ayrıca yapılan istatistiksel değerlendirme neticesinde, olgunlaştırma süresi ilerledikçe örneklerin protein miktarlarının önemli düzeyde arttığı görülmüştür. Kuru olgunlaştırma işlemi boyunca, etlerin protein miktarlarındaki artışın nedeni, olgunlaştırma işlemi esnasında yaşanan su kaybı nedeniyle kurumadde içeriğindeki oransal artıştır (Lee *et al.* 2017; Berger *et al.* 2018). Mevcut araştırmada analiz edilen et örneklerinde belirlenen kurumadde içeriği ile protein miktarlarının birbirine paralel olması da bu sonucu desteklemektedir.

Tablo 12. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin protein miktarlarına ait ortalama sonuçların Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları

Muamele	Protein miktarı (%) $\pm$ SS
Hammadde	21,12 $\pm$ 0,18c
15. Gün	27,01 $\pm$ 0,28b
30. Gün	27,58 $\pm$ 0,20a

Demircioğlu (2011) farklı sürelerde (0, 7, 14, 21 ve 28 gün) kuru olgunlaştırılan (1,0 °C, %83 nispi rutubet) et örneklerinin (kontrfile, antrikot ve döş) protein miktarlarının olgunlaştırma süresince önemli düzeyde arttığını ve %19,22 ile 20,63 arasında değişen başlangıç protein miktarının olgunlaştırma işlemi neticesinde %20,30 ile 23,62 arasında değiştiğini bildirmiştir. Benzer şekilde, Hulankova *et al.* (2018) da başlangıçtaki protein içeriğini %22,19 olarak belirledikleri sığır filetosunun 12 gün süre ile olgunlaştırılan örneklerde (1 °C) % 24,20'ye, 36 gün süre ile olgunlaştırılan örneklerde (1 °C) ise %25,39'a yükseldiğini rapor etmişlerdir. Aşçıoğlu (2021) tarafından yapılan başka bir çalışmada da, 28 gün boyunca kuru olgunlaştırılan (1,5 °C, %81 nispi rutubet) etlerin protein miktarlarının (%29,94) başlangıç protein miktarına (%22,04) göre yüksek olduğu ve olgunlaştırma süresi arttıkça örneklerin protein miktarlarının kontrol grubuna kıyasla arttığı rapor edilmiştir.

Etlerin Renk Değerleri

Et ve et ürünlerinin rengi, tüketicilerin ürünü satın almasını etkileyen en önemli görsel kalite parametresidir. Mevcut araştırmada örneklerin renk yoğunlukları, spektral fotometre kullanılarak ölçülmüş ve renk yoğunlukları matematiksel olarak (L^* değeri: 0 = siyah, 100 = beyaz; a^* değeri: $+a^*$ = kırmızı, $-a^*$ = yeşil; b^* değeri: $+b$ = sarı, $-b$ = mavi) belirlenmiştir (CIELAB). Ayrıca renk farklılıkları ΔE üzerinden de hesaplanmıştır. Hammadde ve farklı

sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin renk değerleri (L^* , a^* , b^* ve ΔE) Tablo 13’de verilmiştir. Mevcut araştırmada materyal olarak kullanılan örneklerin (hammadde) 40,29 ile 46,18 arasında değişen L^* değerlerinin olgunlaştırma süresince azaldığı ve 30 gün süre boyunca olgunlaştırılmış etlerde 29,30’a kadar düştüğü belirlenmiştir. Materyal olarak kullanılan örneklerde 17,80 ile 31,25 arasında değişen a^* değerinin farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerde 11,33 ile 15,27 arasında değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. Öte yandan, materyal olarak kullanılan örneklerde 3,88 ile 10,08 arasında değişen b^* değerinin ise farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerde 3,75 ile 6,5 arasında değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca olgunlaştırılan örneklerin ΔE değerinin 4,04 ile 26,46 arasında değiştiği ve olgunlaştırma süresi ilerledikçe ΔE değerinin arttığı tespit edilmiştir.

Tablo 13. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin L^* , a^* , b^* ve ΔE değerleri

Renk	Muamele	I	II	III
L^*	Hammadde	40,29	46,18	42,22
	15. Gün	37,46	42,66	36,55
	30. Gün	29,30	29,87	29,59
a^*	Hammadde	17,80	31,25	18,74
	15. Gün	15,27	12,35	11,44
	30. Gün	11,33	11,40	11,95
b^*	Hammadde	6,36	10,08	3,88
	15. Gün	4,98	5,03	6,5
	30. Gün	4,93	3,75	4,95
ΔE	15. Gün	4,04	19,88	9,61
	30. Gün	12,83	26,46	14,38

Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin renk değerlerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 14’de verilmiştir. Olgunlaştırma süresinin etlerin L^* değeri üzerine çok önemli ($p<0,01$), a^* değeri üzerine ise önemli ($p<0,05$) etkisinin olduğu belirlenirken, b^* ve ΔE değerleri üzerine önemli bir etkisinin olmadığı ($p>0,05$) tespit edilmiştir.

Tablo 14. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin L^* , a^* , b^* ve ΔE değerlerine ait varyans analiz sonuçları

Analiz	Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F
L^*	Muamele	2	139,881	21,020**
	Hata	6	6,655	
a^*	Muamele	2	107,826	5,347*
	Hata	6	20,167	
b^*	Muamele	2	3,754	1,028
	Hata	6	3,652	
ΔE	Muamele	1	67,603	1,124
	Hata	4	60,126	

SD: Serbestlik Derecesi, KO: Kareler Ortalaması, **: $p < 0,01$, *: $p < 0,05$

Olgunlaştırma süresinin örneklerin renk değerleri üzerine olan etkisinin Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları Tablo 15’de verilmiştir. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış örneklerin L^* değerlerinin 29,59 ile 42,90 arasında değiştiği belirlenmiştir. Araştırmada istatistiksel olarak en düşük L^* değeri; 30 gün boyunca kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan et örneklerinde tespit edilirken, L^* değeri açısından olgunlaştırma işlemine tabi tutulmayan kontrol grubu örnekler (hammadde) ile 15 gün boyunca kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan örnekler arasında anlamlı bir farklılık olmadığı ($p > 0,05$) belirlenmiştir. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış örneklerin a^* değerlerinin 11,56 ile 22,60 arasında değiştiği belirlenmiştir. Araştırmada istatistiksel olarak en yüksek a^* değeri; olgunlaştırma işlemine tabi tutulmayan kontrol grubu örneklerde (hammadde) belirlenirken, a^* değeri açısından 15 gün ve 30 gün boyunca kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan et örnekleri arasında anlamlı bir farklılık olmadığı ($p > 0,05$) belirlenmiştir. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış örneklerin b^* değerlerinin 4,54 ile 6,77 arasında değiştiği ve b^* değeri açısından örnekler arasında anlamlı bir farklılık olmadığı ($p > 0,05$) belirlenmiştir. Ayrıca kuru olgunlaştırılmış örneklerin ΔE değerlerinin olgunlaştırma süresi boyunca arttığı, ancak bu artışın istatistiksel olarak anlamlı düzeyde olmadığı tespit edilmiştir ($p > 0,05$). Et ürünlerinin rengi, işleme koşullarının yanı sıra ham madde bileşimi (su, protein, miyogloblin, yağ içeriği vb.), et dışı bileşenler ve katkı maddeleri gibi birçok faktöre bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir (Kılıç *et al.* 2021).

Tablo 15. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin L^* , a^* , b^* ve ΔE değerlerine ait ortalama sonuçların Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları

Muamele	$L^* \pm SS$	$a^* \pm SS$	$b^* \pm SS$	$\Delta E \pm SS$
Hammadde	42,90 $\pm$ 3,00a	22,60 $\pm$ 7,51a	6,77 $\pm$ 3,12a	-
15. Gün	38,89 $\pm$ 3,30a	13,02 $\pm$ 2,00b	5,50 $\pm$ 0,86a	11,17 $\pm$ 8,03a
30. Gün	29,59 $\pm$ 0,29b	11,56 $\pm$ 0,34b	4,54 $\pm$ 0,69a	17,89 $\pm$ 7,46a

Kuru olgunlaştırılmış sığır etlerinin, daha düşük nem içeriğine sahip olması, olgunlaştırma işlemi sonrasında yüzey dehidrasyonu, bu dehidrasyona bağlı olarak renkte görülen koyulaşma ve ışığı daha az yansıtma durumu ile miyoglobinin oksidasyonuna bağlı olarak metmyoglobin birikimi gibi nedenlerden dolayı kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulmuş etlerin, diğer etlere kıyasla daha koyu ve daha az kırmızı renge sahip olduğu belirtilmektedir (Obuz *et al.* 2014; Ribeiro *et al.* 2021). Mevcut araştırmada da en düşük L^* değeri, en yüksek kurumadde içeriğine sahip 30 gün boyunca kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulmuş et örneklerinde tespit edilmiştir. Benzer şekilde, mevcut araştırmada, kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulmuş etlerin a^* değerlerinin, hammaddenin a^* değerinden anlamlı düzeyde düşük olduğu da belirlenmiştir. Benzer sonuçlar, literatürde yer alan bazı çalışmalarda da tespit edilmiştir (Dikeman *et al.* 2013; Kim *et al.* 2016; Ribeiro *et al.* 2021).

Çeşitli kuru ve yaş olgunlaştırma koşullarının et kalitesi ve sığır filetosunun duyuşal özellikleri üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla yapılan bir araştırmada, Kim *et al.* (2016), kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulmuş fileto etlerinin, yaş olgunlaştırma işlemine tabi tutulmuş fileto etlerine kıyasla daha koyu ve daha az kırmızı bir renge sahip olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar, 3 hafta boyunca farklı kuru olgunlaştırma parametreleri (1 ve 3 °C), nispi rutubet (%49, 55, 73 ve 76) ve hava sirkülasyon hızı (0,2 ve 0,5 m/s)) kullanarak olgunlaştırma işlemine tabi tuttukları fileto etlerinin L^* değerlerinin 37,8 ile 40,3 arasında değiştiğini rapor etmişlerdir.

Atış Karaduman (2018), kuru olgunlaştırma işleminin taze sığır etlerinin (bonfile, nuar ve kaburga eti) fizikokimyasal, mikrobiyolojik ve duyuşal özellikleri üzerine etkisini belirlemek için yaptığı çalışmasında, kuru olgunlaştırma işleminin etlerin L^* , a^* ve b^* değerlerinde azalmalara neden olduğunu bulmuştur. Araştırmacı, 0. günde 44,86 ile 52,08 arasında değişen L^* değerinin 28 gün olgunlaştırma neticesinde 24,16 ile 40,83 arasında değiştiğini, 0. günde 15,00 ile 16,23 arasında değişen a^* değerinin 28 gün olgunlaştırma neticesinde 2,27 ile 3,94 arasında değiştiğini ve 0. günde 14,51 ile 16,16 arasında değişen b^* değerinin ise 28 gün olgunlaştırma neticesinde 1,87 ile 6,95 arasında değiştiğini bildirmiştir.

Aşçıoğlu (2021), kontrol grubu örneklerde 38,42 olarak belirledikleri L^* değerinin 28 gün boyunca kuru olgunlaştırma neticesinde azalarak 38,42'ye düştüğünü, kontrol grubu örneklerde 8,91 olarak belirledikleri a^* değerinin 28 gün boyunca kuru olgunlaştırma neticesinde azalarak 5,87'ye düştüğünü ve kontrol grubu örneklerde 28,0 olarak belirledikleri b^* değerinin ise 28 gün boyunca kuru olgunlaştırma neticesinde azalarak 22,12'ye düştüğünü bildirmiştir.

Ribeiro *et al.* (2021) farklı olgunlaştırma işlemi yapılan etlerin başlangıçtaki L^* , a^* ve b^* değerlerini sırasıyla 45,19, 18,23 ve 7,89 olarak belirlerken, 42 gün boyunca kuru olgunlaştırılan örneklerin L^* , a^* ve b^* değerlerinin ise azaldığını rapor etmişlerdir. Ayrıca 42 gün olgunlaştırılan örneklerin ΔE değerini 11,21 olarak tespit etmişlerdir.

Literatürde, olgunlaştırma işleminin, olgunlaştırılmamış etlerin renk değerlerine göre L^* , a^* ve b^* değerlerinde artışa neden olduğunu gösteren çalışmalar da bulunmaktadır. Nitekim, Utama *et al.* (2020), 50 güne kadar yaptıkları kuru olgunlaştırma işleminin, sığır etlerinin L^* , a^* ve b^* değerlerinde anlamlı düzeyde artışa neden olduğunu belirtmişlerdir. Benzer şekilde, Kim *et al.* (2019) da, yaptıkları çalışmada, kuru olgunlaştırma işleminin farklı sığır eti parçalarının L^* , a^* ve b^* değerlerinde anlamlı düzeyde artışa neden olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar, kuru olgunlaştırma işlemi neticesinde örneklerin L^* , a^* ve b^* değerlerinde görülen artışın, miyofibriler proteinlerde görülen enzimatik değişimler nedeniyle et yüzeyinin farklı emilim, iletim ve yansıma yapması nedeniyle olabileceğini belirtmişlerdir. Öte yandan, Obuz *et al.* (2014) ise yaptıkları çalışmada, 23 gün boyunca olgunlaştırma işlemine tabi tuttıkları sığır etlerinde L^* değerinin arttığını, a^* ve b^* değerlerinin azaldığını bildirmişlerdir.

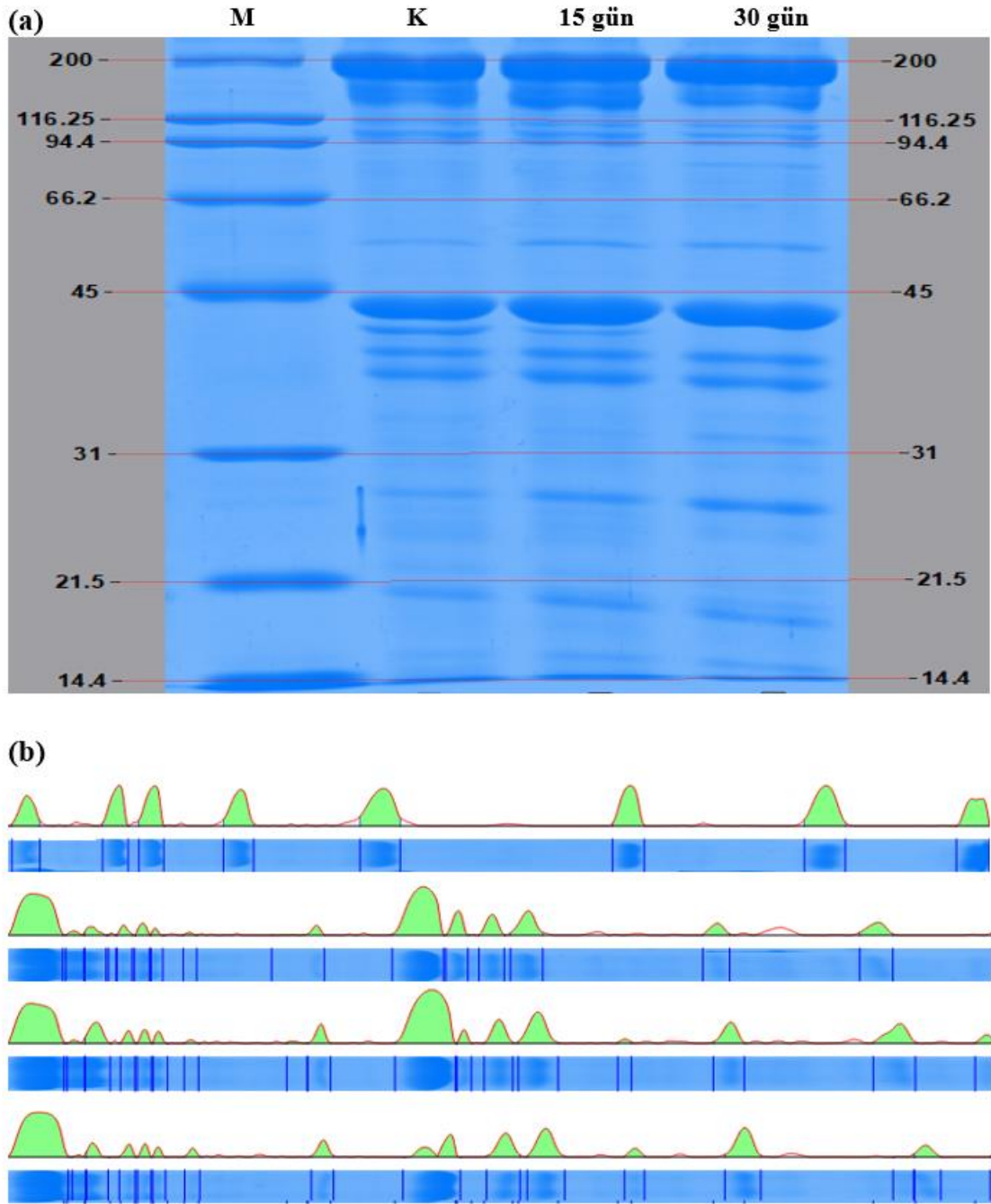
Kuru olgunlaştırma işleminin renk üzerindeki literatürde yer alan farklı etkilerinin, araştırmalarda kullanılan hayvan türü, kas çeşidi, kemikli ve kemiksiz et kullanımı, etin pH değeri, olgunlaştırma parametrelerindeki farklılık, oksidasyon durumu gibi faktörlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Miyofibriler Proteinlerde Gerçekleşen Değişimler (SDS-PAGE Profili)

Postmortem olgunlaştırma neticesinde, et proteinleri değişen seviyelerde proteolize uğramaktadır ve etin olgunlaştırması esnasında gerçekleşen bu proteolitik değişimler, gevreklik, sululuk ve lezzet özelliklerine katkı sağlamaktadır (Zhang *et al.* 2021). Mevcut araştırmada, farklı sürelerde olgunlaştırılmış etlerin (*L. thoracis et lumbarum*) protein degradasyon profilinin incelenmesinde Sodyum Dodesil Sülfat Poliakrilamid Jel Elektroferez (SDS-PAGE) tekniği kullanılmıştır. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru

olgunlaştırılmış etlerin miyofibriler proteinlerine ait SDS-PAGE elektroforetogramı Şekil 5’de sunulmuştur.

Miyofibriler proteinlere ait (miyosin ağır zinciri, miyosin hafif zincirleri, aktin, C proteini, desmin, Troponin T, α aktininin vb.) bant yoğunlukları 200-14.4 kDa aralığı boyunca değerlendirilmiştir. Kontrol grubu örneklerinde tespit edilen 140 kDa ve 31 kDa ağırlığındaki protein bantlarının bant yoğunluklarının, 15 gün boyunca kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan et örneklerinde azaldığı, 30 gün boyunca kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan et örneklerinde ise bu proteinlere ait bantların kaybolduğu tespit edilmiştir. 85 kDa, 55 kDa ve 27 kDa ağırlıklarındaki proteinlere ait bant yoğunluklarının ise kuru olgunlaştırma süresine bağlı olarak artış gösterdiği gözlenmiştir. Olgunlaştırma süresince söz konusu proteinlerin bant yoğunluklarında gözlenen varyasyonların, kuru olgunlaştırma prosesi esnasında gerçekleşen proteoliz seviyesi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Proteoliz seviyesine bağlı olarak yüksek molekül ağırlıklı miyofibriler proteinlerde gerçekleşen degradasyon nedeniyle protein bant yoğunluklarının azaldığı, buna bağlı olarak düşük molekül ağırlıklı protein fragmentlerinin bant yoğunluklarında artış gözlemlendiği veya yeni fragmentlerin ortaya çıktığı bilinmektedir. Nitekim Marino *et al.* (2013) olgunlaştırma neticesinde gerçekleşen proteolitik değişimlerin, miyofibriler proteinlerin bant yoğunluğunu etkilediğini, bu değişimlerin özellikle 170-138 kDa ve 32-27 kDa arasında daha belirgin olduğunu bildirmişlerdir.



Şekil 5. (a) Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulmuş etlerin miyofibriller proteinlerine ait SDS-PAGE elektroforetogramı **(b)** Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulmuş etlerin miyofibriller proteinlerinin optik yoğunluğu. **M:** Marker (200-14.4 kDa)

Kalın filamentlerin esas proteini olan miyosinin, miyosin ağır formu olan 200 kDa ağırlığındaki protein bant yoğunluğunun muamele grupları arasında benzer olduğu tespit edilmiştir. İnce filamentlerin esas proteini olan ve kasın kasılmasında rol oynayan kontraktıl proteinlerden biri olan 42 kDa ağırlığındaki aktin proteinin bant yoğunluğunun ise 30 gün süre boyunca kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan etlerde, hammadde ve 15 gün süre boyunca kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan et örneklerine kıyasla belirgin bir şekilde

düşük olduğu tespit edilmiştir. Kasın yapısal proteinlerinden biri olan aktinin yapısında gözlenen degradasyon neticesinde, kontrol grubu örneklerde tespit edilmeyen ancak farklı sürelerde kuru olgunlaştırılan et örneklerinde 32 kDa ağırlığında yeni bir protein fragmenti ortaya çıkmıştır. Bu yeni fragmentin bant yoğunluğunun 30 gün süre boyunca kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan et örneklerinde daha belirgin olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç, 30 gün boyunca kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan et örneklerinde, et gevrekliği ile yakından ilişkili olan aktin hidrolizinin, dolayısıyla proteoliz seviyesinin 15 gün boyunca kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan et örneklerine kıyasla daha yüksek olduğuna işaret etmektedir. Benzer şekilde, Negishi *et al.* (1996) etin olgunlaştırılması neticesinde aktin degradasyon ürünü olarak 32 kDa ağırlığında yeni bir protein fragmentinin ortaya çıktığını bildirmişlerdir. Longo *et al.* (2015) ise aktin degradasyonu neticesinde oluşan 32 kDa ağırlığındaki protein fragmentinin et gevrekliğinin değerlendirilmesinde bir belirteç olarak kullanılabileceğini rapor etmişlerdir.

Etlerin Toplam Karbonil İçerikleri

Et ve et ürünleri, işleme ve üretimleri esnasında oksidatif reaksiyonlara karşı oldukça hassastır. Bu oksidatif reaksiyonlardan biri olan protein oksidasyonu, sülfidril gruplarının kaybı, triptofan flüoresansının kaybı, karbonil türevlerinin oluşumu gibi birçok kimyasal değişime sebep olabilmekte ve neticede et ve et ürünlerinde çeşitli kalite problemleri ortaya çıkabilmektedir (Estevez 2011). Protein oksidasyonunun oluşum göstergelerinden birisi de karbonil bileşiklerinin oluşumudur. Protein karbonilasyonu, gıdalarda protein oksidasyonunun göstergesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Karbonil bileşiklerinin ölçülmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri de 2,4-dinitrofenilhidrazin (DNPH) yöntemidir (Estevez 2011; Lund *et al.* 2011; Utrera *et al.* 2012; Cheng *et al.* 2018). Mevcut araştırmada da örneklerin toplam karbonil içerikleri DNPH yöntemine göre belirlenmiştir. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin toplam karbonil içerikleri Tablo 16'da verilmiştir. Mevcut araştırmada materyal olarak kullanılan örneklerin (hammadde) 0,348 ile 1,923 nmol/mg protein arasında değişen toplam karbonil içeriklerinin olgunlaştırma işlemi neticesinde arttığı ve 30 gün olgunlaştırma sonrasında 3,351 nmol/mg protein'e kadar yükseldiği belirlenmiştir.

Tablo 16. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin toplam karbonil içerikleri (DNPH) (nmol/mg protein)

Muamele	I	II	III
Hammadde	1,517	1,923	0,348
15. Gün	3,139	2,774	1,528
30. Gün	3,351	3,197	1,312

Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin toplam karbonil içeriklerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 17’de verilmiştir. Olgunlaştırma süresinin etlerin toplam karbonil içerikleri üzerine önemli bir etkisinin olmadığı ($p>0,05$) belirlenmiştir.

Tablo 17. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin toplam karbonil içeriklerine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F
Muamele	2	1,672	1,878
Hata	6	0,890	

SD: Serbestlik Derecesi, KO: Kareler Ortalaması

Olgunlaştırma süresinin örneklerin toplam karbonil içerikleri üzerine olan etkisinin Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları Tablo 18’de verilmiştir. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış örneklerin toplam karbonil içeriklerinin 1,263 ile 2,620 nmol/mg protein arasında değiştiği belirlenmiştir. Araştırmada en düşük toplam karbonil içeriği; olgunlaştırma işlemine tabi tutulmayan kontrol grubu örneklerde (hammadde) belirlenirken, en yüksek toplam karbonil içeriği ise 30 gün boyunca kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan et örneklerinde tespit edilmiştir. Olgunlaştırma süresi ilerledikçe örneklerin toplam karbonil içeriğinin arttığı, ancak bu artışın istatistiksel olarak önemli düzeyde olmadığı ($p>0,05$) belirlenmiştir.

Tablo 18. Hammadde ve farklı sürelerde kuru olgunlaştırılan örneklerin toplam karbonil içeriklerine ait ortalama sonuçların (nmol/mg protein) Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları

Muamele	n	DNPH $\pm$ SS
Hammadde	3	1,263 $\pm$ 0,818a
15. gün	3	2,480 $\pm$ 0,845a
30. gün	3	2,620 $\pm$ 1,135a

Wang *et al.* (2022), farklı koşullar altında kuru olgunlaştırma (4 °C, %75 nispi rutubet, < 0,2 m/s hava sirkülasyon hızı, 6, 12, 24, 36 ve 48 saat süre) işlemine tabi tuttıkları etlerde toplam karbonil içeriklerini araştırmışlardır. Araştırmacılar, 0,29 nmol/mg protein olarak belirledikleri başlangıç toplam karbonil içeriğini, olgunlaşmış örneklerde 0,89 nmol/mg protein düzeyine kadar tespit etmişlerdir.

Martinaud *et al.* (1997), olgunlaştırma işleminin *Longissimus lumborum* ve *Diaphragma pedialis* kaslarından üretilen etlerdeki toplam karbonil içeriği üzerine olan etkisini belirlemek için yaptıkları çalışmada, başlangıçta sırasıyla 3,1 nmol/mg protein ile 4,8 nmol/mg protein düzeylerinde belirledikleri toplam karbonil içeriklerinin, 10 gün süren olgunlaştırma işleminin ardından 5,1 nmol/mg protein ile 6,9 nmol/mg protein düzeyine yükseldiğini bildirmişlerdir. Benzer şekilde, Ganhao *et al.* (2010) tarafından yapılan çalışmada da soğuk depolamaya tabi tutulan köftelerde toplam karbonil içeriğinin önemli ölçüde arttığı belirlenmiştir. Rodríguez-Carpena *et al.* (2011), 5 °C’de depolanan domuz etinden üretilen köftelerin toplam karbonil içeriklerinin 0,5 ile 2 nmol/mg protein arasında değiştiğini rapor etmişlerdir.

Botsoglou *et al.* (2012) ise hammaddede 1,3 ile 1,6 nmol/mg protein arasında değişen seviyelerde belirledikleri toplam karbonil içeriklerinin, 9 gün boyunca depolanan ve pişirilen domuz etlerinde 1 ile 5 nmol/mg protein arasında değiştiğini rapor etmişlerdir.

Erdemir (2017), pastırma üretiminde protein oksidasyonunu araştırdığı çalışmasında, kontrol grubu ve farklı seviyelerde potasyum laktat ilave ederek ürettikleri pastırmalarda belirledikleri toplam karbonil miktarının (1,98 nmol/mg protein) hammaddede belirlenen toplam karbonil miktarından (1,32 nmol/mg protein) anlamlı düzeyde yüksek olduğunu belirlemiştir.

Aşçıoğlu (2021) tarafından yapılan bir çalışmada ise olgunlaştırma süresinin örneklerin toplam karbonil içeriği üzerine önemli düzeyde etki ettiği, kontrol grubu örneklerde 1,22 µmol/g protein olarak belirledikleri toplam karbonil miktarının 28 gün boyunca kuru olgunlaştırma işlemi neticesinde artarak 1,37 µmol/g protein düzeyine yükseldiği belirlenmiştir.

Serdaroğlu *et al.* (2022), fermente ve ısıl işlem görmüş dana ve hindi sucuklarda, yağ formülasyonunun protein oksidasyonu üzerine etkisini araştırdıkları çalışmada, sucuk üretiminde zeytinyağı kullanım oranı arttıkça karbonil içeriğinin de arttığını belirlemiştir.

Literatürde, mevcut araştırmada elde edilen sonuçlara benzer şekilde, olgunlaşma süresinin toplam karbonil içeriği üzerine anlamlı bir etkisinin olmadığını (p>0,05) gösteren

çalışmalar da bulunmaktadır. Nitekim, farklı olgunlaştırma metotları (kuru, yaş ve yaş olgunlaştırma peşine kuru olgunlaştırma) ve olgunlaştırma süresinin (56 güne kadar) sığır filetolarının çeşitli kalite parametreleri üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada (Ha *et al.* 2019), 35 ve 56 gün boyunca kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan etlerin toplam karbonil içeriği arasında önemli farklılıkların olmadığı ve kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan etlerin, yaş olgunlaştırma işlemine tabi tutulan etlere kıyasla daha yüksek toplam karbonil içeriğine sahip olduğu ($p<0,05$) bildirilmiştir. Benzer şekilde, Coombs *et al.* (2018) tarafından yapılan araştırmada protein karbonil içeriğinin, numunenin soğutulmuş ve daha sonra dondurulmuş depolama süresi işlemine bakılmaksızın taze et için gözlemlenen miktar ile anlamlı bir farklılığının olmadığı belirlenmiştir. Xue *et al.* (2021) tarafından yapılan çalışmada da olgunlaştırılmamış sığır eti örnekleri ile kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan etin kabuk kısmından alınan örneklerin toplam karbonil içerikleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmadığı belirtilmiştir.

Kuru olgunlaştırma işleminin etlerin toplam karbonil içeriği üzerine olan farklı seviyelerdeki etkisinin hayvan türü, kas tipi, uygulan işlemler (pişirme, depolama, olgunlaştırma, dondurma/çözündürme vb.), analiz yöntemi ve sonuç hesaplamasında kullanılan formüllerdeki farklılıklar gibi çeşitli faktörlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Etlerin Spesifik Protein Oksidasyon Ürünleri

γ -glutamik semialdehit (GGS) ve α -aminoadipik semialdehit (AAS) protein oksidasyon düzeyini belirlemek amacıyla kullanılan spesifik protein oksidasyon ürünleridir (Utrera and Estévez, 2013a). Et proteinlerinde AAS ve GGS'nin oluşumu, reaktif oksijen türleri varlığında karbon merkezli bir protein radikalının ilk oluşumunu ve geçiş metalleri tarafından kataliz edilen nihai oksidatif deaminasyonunu içermektedir (Estevez 2011; Cando *et al.* 2014). Et ve et ürünlerinde GGS ve AAS oluşumu, reaktif oksijen türleri ve demir gibi geçiş metallerinin varlığında lizin, arginin ve/veya prolin aminoasitlerinin yan zincirlerinin oksidatif deaminasyonunu kanıtlamaktadır. Her iki semialdehit bileşiğinin de proteinlerin metal katalizli oksidasyonun ana ürünleri olduğu belirtilmektedir (Requena *et al.* 2001; Utrera ve Estevez, 2013). AAS'nin lizin amino asidinin deaminasyonu ile oluştuğu belirtilirken, GGS'nin arginin ve prolin aminoasitlerinin kalıntılarının oksitlenmesinden hemen sonra üretildiği bildirilmektedir (Serdaroğlu *et al.* 2022). Mevcut araştırmada hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin GGS ve AAS içerikleri Tablo 19'da verilmiştir. Mevcut araştırmada materyal olarak kullanılan örneklerin (hammadde) 0,004 ile 0,010 nmol/mg protein arasında değişen GGS içeriğinin olgunlaştırma süresince arttığı ve 30 gün süreyle olgunlaştırılmış etlerde 0,078 nmol/mg protein düzeyine kadar yükseldiği

belirlenmiştir. Materyal olarak kullanılan örneklerde 0,068 ile 0,273 nmol/mg protein arasında değişen AAS içeriğinin ise GGS içeriğinde olduğu gibi olgunlaştırma süresince arttığı ve 30 gün süreyle olgunlaştırılmış etlerde 1,017 nmol/mg protein düzeyine kadar yükseldiği belirlenmiştir.

Tablo 19. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin GGS ve AAS içerikleri (nmol/mg protein)

Bileşik	Muamele	I	II	III
GGS	Hammadde	0,004	0,005	0,010
	15 Gün	0,007	0,017	0,018
	30 Gün	0,028	0,078	0,045
AAS	Hammadde	0,222	0,273	0,068
	15 Gün	0,366	0,455	0,748
	30 Gün	0,544	0,793	1,017

Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin GGS, AAS ve toplam GGS ve AAS (GGS + AAS) içeriklerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 20’de verilmiştir. Olgunlaştırma süresinin etlerin GGS, AAS ve toplam GGS ve AAS içerikleri üzerine önemli ($p<0,05$) etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Tablo 20. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin GGS, AAS ve toplam GGS ve AAS içeriklerine ait varyans analiz sonuçları

Analiz	Varyasyon Kaynakları	SD	KO	F
GGS	Muamele	2	0,002	7,168*
	Hata	6	0,000	
AAS	Muamele	2	0,269	7,510*
	Hata	6	0,036	
GGS + AAS	Muamele	2	0,309	8,155*
	Hata	6	0,038	

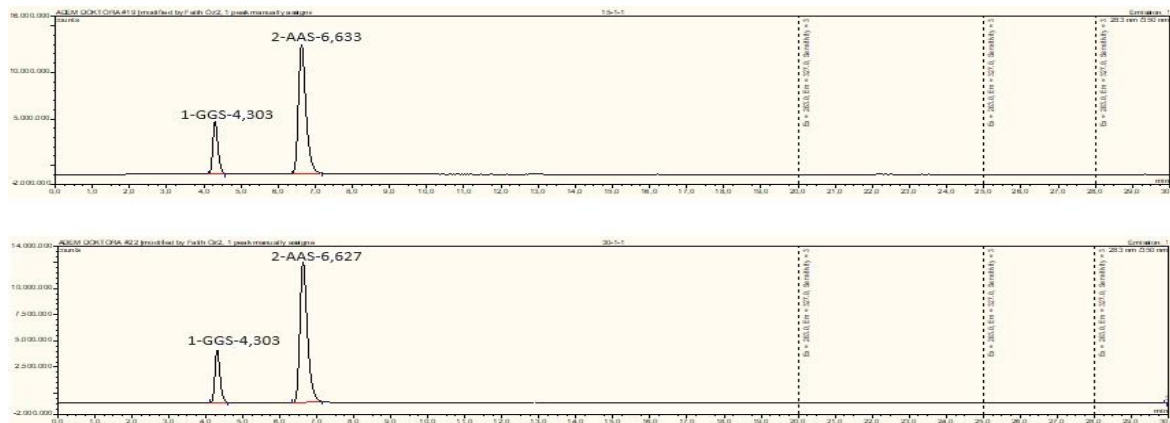
SD: Serbestlik Derecesi, KO: Kareler Ortalaması, *: $p<0,05$

Olgunlaştırma süresinin örneklerin GGS, AAS ve toplam GGS ve AAS içerikleri üzerine olan etkisinin Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları Tablo 21’de verilmiştir. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış örneklerin GGS içeriklerinin 0,006 ile 0,050 nmol/mg protein arasında değiştiği belirlenmiştir. Araştırmada istatistiksel olarak en yüksek GGS içeriği; 30 gün boyunca kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan et örneklerinde tespit edilirken, GGS içeriği açısından olgunlaştırma işlemine tabi tutulmayan kontrol grubu örnekler (hammadde) ile 15 gün boyunca kuru olgunlaştırma

işlemine tabi tutulan örnekler arasında anlamlı bir farklılık olmadığı ($p>0,05$) belirlenmiştir. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış örneklerin AAS içeriklerinin 0,188 ile 0,785 nmol/mg protein arasında değiştiği belirlenmiştir. Araştırmada istatistiksel olarak en düşük AAS içeriği; olgunlaştırma işlemine tabi tutulmayan kontrol grubu örneklerde (hammadde) tespit edilirken, en yüksek AAS içeriği ise; 30 gün boyunca kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan et örneklerinde belirlenmiştir. Hammadde ve farklı sürelerde (15. ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış örneklerin toplam GGS ve AAS içeriklerinin ise 0,194 ile 0,835 nmol/mg protein arasında değiştiği belirlenmiştir. Araştırmada istatistiksel olarak en düşük toplam GGS ve AAS içeriği; olgunlaştırma işlemine tabi tutulmayan kontrol grubu örneklerde (hammadde) tespit edilirken, en yüksek toplam GGS ve AAS içeriği ise; 30 gün boyunca kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan et örneklerinde belirlenmiştir. Öte yandan, 15 gün boyunca kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan et örneklerinde tespit edilen AAS ve toplam GGS ve AAS içeriklerinin, istatistiksel olarak olgunlaştırma işlemine tabi tutulmayan kontrol grubu örnekler (hammadde) ile 30 gün boyunca kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan örneklerden farklı olmadığı belirlenmiştir. En yüksek AAS ve GGS içeriklerine sahip bazı örneklerin HPLC kromatogramları Şekil 6’da verilmiştir.

Tablo 21. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış etlerin GGS, AAS ve toplam GGS ve AAS içeriklerine ait ortalama sonuçların (nmol/mg protein) Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları

Muamele	GGs ± SS	AAS ± SS	Toplam (GGs + AAS) ± SS
Hammadde	0,006 ± 0,003b	0,188 ± 0,107b	0,194 ± 0,104b
15 Gün	0,014 ± 0,006b	0,523 ± 0,200ab	0,537 ± 0,204ab
30 Gün	0,050 ± 0,024a	0,785 ± 0,237a	0,835 ± 0,247a



Şekil 6. En yüksek GGS ve AAS içeriklerine sahip bazı örneklere ait HPLC kromatogramları

Et ve et ürünlerinde GGS ve AAS bileşikleri ile yapılan literatürde çalışmalarında, genellikle AAS bileşiğinin miktarının GGS bileşiğinin miktarından daha fazla olduğu görülmektedir. Utrera and Estevez (2013), farklı hayvan (sığır, domuz ve tavuk) etleri kullanarak ürettikleri köftelerin donmuş muhafazası (20 haftaya kadar) boyunca GGS ve AAS içeriklerini araştırdıkları çalışmalarında, maksimum GGS ve AAS içeriklerinin sığır etinden yapılan köftelerde tespit edildiğini, maksimum GGS içeriğinin yaklaşık 120 nmol/g protein düzeyine, maksimum AAS içeriğinin ise yaklaşık 600 nmol/g protein düzeyine ulaştığı ve örneklerin GGS ve AAS içeriklerinin sığır etinden üretilen köftelerde 8. haftada maksimuma ulaştığını bildirmişlerdir.

Farklı muamele işlemlerinin (taze, dondurma ve çözündürme) domuz etlerinin (*M. longissimus dorsi* ve *M. psoas major* kasları) spesifik protein oksidasyon ürünleri olan GGS ve AAS içerikleri üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada (Estevez *et al.* 2011), örneklerdeki GGS içeriğinin 1,16 ile 6,13 nmol/mg protein arasında, AAS içeriğinin ise 2,32 ile 5,66 nmol/mg protein arasında değiştiği rapor edilmiştir.

Soladoye *et al.* (2017) yaptıkları çalışmada, pastırmada AAS ve GGS içeriklerinin sırasıyla 31,42 – 75,13 nmol/mg protein ve 4,88 – 6,11 nmol/mg protein arasında değiştiğini tespit etmişlerdir.

Mitra *et al.* (2018) farklı pişirme yöntemlerinin domuz etindeki GGS ve AAS bileşikleri üzerine etkisini araştırdıkları çalışmada, örneklerin GGS içeriklerinin 2 ile 7 nmol/mg protein arasında AAS içeriğinin ise 2 ile 12 nmol/mg protein arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Isıl işlem görmüş sucuklarda protein oksidasyonunun araştırıldığı bir çalışmada (Öztürk- Kerimoğlu *et al.* 2019), örneklerin AAS içeriklerinin 0,356 – 0,585 nmol/mg protein arasında, GGS içeriklerinin ise 0,127 – 0,391 nmol/mg protein arasında değiştiği rapor edilmiştir. Yapılan başka bir çalışmada ise, Silva *et al.* (2016) farklı pişirme yöntemleri kullanarak pişirdikleri tavuk göğüs etlerinin toplam GGS ve AAS içeriklerinin 1 ile 3 nmol karbonil/mg protein arasında değiştiğini rapor etmişlerdir.

Utrera *et al.* (2011) ısıl işlem görmemiş köftelerde 0,13 nmol/mg protein düzeyinde GGS ve 0,27 nmol/mg protein düzeyinde ise AAS belirlemişlerdir. Araştırmacılar, toplam GGS ve AAS miktarının (0,40 nmol/mg protein) toplam karbonil miktarının (1,31 nmol/mg protein) %30,53'ünü oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Biyolojik sistemlerde, GGS ve AAS bileşiklerinin, toplam karbonil içeriğinin %23 – 60'luk kısmını oluşturduğu belirtilmektedir (Utrera *et al.* 2011; Berardo *et al.* 2016). Mevcut

araştırmada, hammaddede belirlenen toplam GGS ve AAS içeriğinin (0,194 nmol/mg protein) toplam karbonil içeriğinin (1,263 nmol/mg protein) %15,36'sına; 15 gün süre ile olgunlaştırılan etlerde belirlenen toplam GGS ve AAS içeriğinin (0,537 nmol/mg protein) toplam karbonil içeriğinin (2,480 nmol/mg protein) %21,65'ine ve 30 gün süre ile olgunlaştırılan etlerde belirlenen toplam GGS ve AAS içeriğinin (0,835 nmol/mg protein) ise toplam karbonil içeriğinin (2,620 nmol/mg protein) %31,87'sine tekabül ettiğ'i hesaplanmıştır. Dolayısıyla, mevcut araştırmada belirlenen toplam GGS ve AAS içeriklerinin, toplam karbonil içeriklerinin %15,36 – 31,87'sini oluşturduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde, Utrera *et al.* (2016) tarafından yapılan çalışmada da, çiğ domuz eti köftelerde 1,59 nmol/mg protein düzeyinde belirlenen toplam karbonil içeriğinin %18,24'n toplam GGS ve AAS içeriğinin (0,29 nmol/mg protein) oluşturduğu belirtilmiştir.

Mevcut araştırmada elde edilen GGS, AAS ve toplam GGS ve AAS içerikleri ile literatürde yer alan araştırma verileri arasındaki farklılıkların, hayvan türü, kas tipi, işleme koşulları, olgunlaştırma parametreleri, depolama süre ve sıcaklıkları, pişirme işleminin uygulanması, pişirme koşulları, analiz yöntem ve belirleme tekniğ'i gibi çeşitli faktörlerden kaynaklandığ'ı düşünülmektedir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Farklı sürelerde (15 ve 30. gün) uygulanan kuru olgunlaştırma işleminin, sığır etinin (*M. Longissimus thoracis et lumborum*) çeşitli kalite parametreleri (ağırlık kaybı, tıraşlama kaybı, kurumadde, pH, renk, ham protein, SDS-PAGE) ile protein oksidasyon ürünlerinin [toplam karbonil (DNPH), γ -glutamik semialdehit (GGS) ve α -aminoadipik semialdehit (AAS)] oluşumu üzerine etkisini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen mevcut araştırmada elde edilen sonuçlar, maddeler halinde aşağıda verilmiştir;

1. Olgunlaştırma süresinin et örneklerinin ağırlık ve tıraşlama kayıpları üzerine çok önemli etkisinin olduğu ($p<0,01$) ve olgunlaştırma süresi ilerledikçe örneklerin ağırlık ve tıraşlama kayıplarının arttığı belirlenmiştir. Farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulmuş etlerin ağırlık kayıplarının %30,55 ile 47,07 arasında, tıraşlama kayıplarının ise %15,52 ile 23,16 arasında değiştiği belirlenmiştir.
2. Olgunlaştırma işleminin örneklerin kurumadde içerikleri üzerine çok önemli etkisinin olduğu ($p<0,01$), olgunlaştırma süresi ilerledikçe örneklerin kurumadde içeriklerinin oransal olarak arttığı ve hammadde ile farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulmuş etlerin kurumadde içeriklerinin %25,01 ile 46,01 arasında değiştiği belirlenmiştir.
3. Olgunlaştırma işleminin örneklerin pH değerleri üzerine çok önemli etkisinin olduğu ($p<0,01$), olgunlaştırma süresi ilerledikçe örneklerin pH değerlerinde artış olduğu ve hammadde ile farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulmuş etlerin pH değerlerinin 5,58 ile 5,75 arasında değiştiği belirlenmiştir.
4. Olgunlaştırma işleminin örneklerin protein içerikleri üzerine çok önemli etkisinin olduğu ($p<0,01$), olgunlaştırma süresi ilerledikçe örneklerin protein içeriklerinde oransal bir artış olduğu ve hammadde ile farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulmuş etlerin protein içeriklerinin %21,12 ile 27,58 arasında değiştiği belirlenmiştir.
5. Olgunlaştırma işlemi, örneklerin L^* , a^* ve b^* değerlerinde azalmaya neden olmuştur. Ancak, istatistiksel olarak, olgunlaştırma işlemi örneklerin L^* değeri

üzerine çok önemli ($p<0,01$), a^* değeri üzerine ise önemli etkisinin olduğu ($p<0,05$) belirlenirken, b^* değeri üzerine ise anlamlı bir etkisinin olmadığı ($p>0,05$) tespit edilmiştir.

6. Hammadde ile farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulmuş etlerin L^* değerlerinin 29,59 ile 42,90 arasında değiştiği ve 30 gün boyunca olgunlaştırma işlemine tabi tutulmuş etlerin L^* değerlerinin, hammadde ve 15 gün boyunca olgunlaştırma işlemine tabi tutulmuş etlerin L^* değerlerinden anlamlı düzeyde düşük olduğu belirlenmiştir.
7. Hammadde ile farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulmuş etlerin a^* değerlerinin 11,56 ile 22,60 arasında değiştiği, olgunlaştırma işleminin örneklerin a^* değerinde anlamlı azalmaya neden olduğu ve 15 gün ve 30 gün boyunca olgunlaştırma işlemine tabi tutulmuş etlerin a^* değerlerinin anlamlı bir farklılığa sahip olmadığı belirlenmiştir.
8. Hammadde ile farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulmuş etlerin b^* değerlerinin istatistiksel olarak birbirlerinden farklı olmadığı ve örneklerin b^* değerlerinin 4,54 ile 6,77 arasında değiştiği belirlenmiştir.
9. Kuru olgunlaştırma işleminde, olgunlaştırma süresinin artması ΔE değerinin artmasına neden olmuş, ancak bu artışın istatistiksel olarak anlamlı düzeyde olmadığı belirlenmiştir.
10. Farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulmuş etlerin SDS-PAGE profili, olgunlaştırma süresinin örneklerin proteoliz derecesinde bazı varyasyonlara neden olduğunu göstermiştir. İnce filamentlerin temel proteini olan aktinin bant yoğunluğunun kontrol grubu örneklerle 15 gün boyunca kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulmuş etlerde benzer olduğu, 30 gün boyunca kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulmuş etlerde ise bu proteinin belirgin şekilde degradasyona uğradığı ve en düşük bant yoğunluğu sergilediği tespit edilmiştir. Ayrıca olgunlaştırma işlemi neticesinde miyofibriler protein fraksiyonunda 1 yeni fragment (32 kDa) ortaya çıkmış ve bu fragmentin bant yoğunluğu 30 gün boyunca kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulmuş etlerde daha yüksek bulunmuştur. Diğer taraftan hammaddede tespit edilen 140 kDa ve 31 kDa ağırlığındaki proteinlerin bant yoğunluklarının olgunlaşma süresinin ilerlemesiyle gerçekleşen degradasyon neticesinde 30 gün boyunca kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulmuş etlerde kaybolduğu belirlenmiştir. SDS-PAGE profil sonuçlarına göre 30 gün süreyle

olgunlaştırılan et örneklerinde proteoliz derecesinin biraz daha yüksek olduğu söylenebilir.

11. Olgunlaştırma işlemi örneklerin toplam karbonil içeriğinde artışa neden olmuştur, ancak bu artışın istatistiksel olarak anlamlı düzeyde olmadığı ($p>0,05$) tespit edilmiştir. Hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30. gün) kuru olgunlaştırılmış örneklerin toplam karbonil içeriklerinin 1,263 ile 2,620 nmol/mg protein arasında değiştiği belirlenmiştir.
12. Olgunlaştırma süresinin etlerin GGS, AAS ve toplam GGS ve AAS içerikleri üzerine önemli ($p<0,05$) etkisinin olduğu, hammadde ve farklı sürelerde (15 ve 30 gün) kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulmuş etlerin GGS içeriklerinin 0,006 ile 0,050 nmol/mg protein arasında, AAS içeriklerinin 0,188 ile 0,785 nmol/mg protein arasında ve toplam GGS ve AAS içeriklerinin ise 0,194 ile 0,835 nmol/mg protein arasında değiştiği belirlenmiştir.
13. Mevcut araştırmada belirlenen toplam GGS ve AAS içeriklerinin, toplam karbonil içeriklerinin %15,36 ile 31,87'sini oluşturduğu hesaplanmıştır.

Neticede, farklı sürelerde (15 ve 30 gün) kuru olgunlaştırma işleminin, etlerin çeşitli kalite kriterlerini etkilediği mevcut araştırmada ortaya konmuştur. Et ve et ürünlerinde protein oksidasyonunun göstergesi olarak kabul edilen toplam karbonil içeriği ile spesifik protein oksidasyon ürünleri olan GGS ve AAS bileşiklerinin olgunlaştırma süresince arttığı belirlenmiş, ancak toplam karbonil içeriğindeki artışın istatistiksel olarak anlamlı düzeyde olmadığı tespit edilmiştir. Öte yandan, GGS ve AAS bileşikleri açısından, sadece hammadde ve 30 gün boyunca kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan örnekler arasında anlamlı bir farklılık olduğu belirlenirken, hammadde ve 15 gün boyunca kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan örnekler arasında anlamlı bir farklılık olmadığı belirlenmiştir. Sonuç olarak, protein oksidasyonu açısından kıyaslama yapıldığında, hammadde ile 15 gün boyunca kuru olgunlaştırma işlemine tabi tutulan etlerin arasında anlamlı bir farklılığın olmadığı belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Aberle, E. D., Forrest, J. C., Gerrard, D. E., Mills, E. W. 2001. Principles of meat science. Kendal.
- Agim, Z. S., Cannon, J. R. 2018. Alterations in the nigrostriatal dopamine system after acute systemic PhIP exposure. Toxicology letters, 287, 31-41.
- Ahnström, M. L., Seyfert, M., Hunt, M. C., Johnson, D. E. 2006. Dry aging of beef in a bag highly permeable to water vapour. Meat science, 73(4), 674-679.
- Akagawa, M., Sasaki, D., Ishii, Y., Kurota, Y., Yotsu-Yamashita, M., Uchida, K., Suyama, K. 2006. New method for the quantitative determination of major protein carbonyls, α -aminoadipic and γ -glutamic semialdehydes: investigation of the formation mechanism and chemical nature in vitro and in vivo. Chemical research in toxicology, 19(8), 1059-1065.
- Aksu, M. I., Kaya, M., Ockerman, H. W. 2005. Effect of modified atmosphere packaging and temperature on the shelf life of sliced pastirma produced from frozen/thawed meat. Journal of Muscle foods, 16(3), 192-206.
- Álvarez, S., Mullen, A. M., Álvarez, C., Hamill, R. M., O'Neill, E., & Gagaoua, M. 2023. Impact of sampling location and aging on the Longissimus thoracis et lumborum muscle proteome of dry-aged beef. Meat Science, 205, 109315.
- Álvarez, S., Mullen, A. M., Hamill, R., O'Neill, E., Álvarez, C. 2021. Dry-aging of beef as a tool to improve meat quality. Impact of processing conditions on the technical and organoleptic meat properties. In Advances in Food and Nutrition Research (Vol. 95, pp. 97-130). Academic Press.
- Armenteros, M., Heinonen, M., Ollilainen, V., Toldrá, F., & Estevez, M. 2009. Analysis of protein carbonyls in meat products by using the DNPH-method, fluorescence spectroscopy and liquid chromatography–electrospray ionisation–mass spectrometry (LC–ESI–MS). Meat Science, 83(1), 104-112.
- Aşçıoğlu, Ç. 2021. Kuru ve yaş olgunlaştırma işlemlerinin *longissimus lumborum* kasının bazı kalite kriterleri üzerine etkisi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- Atış Karaduman, T. 2018. Kuru olgunlaştırma yönteminin taze sığır etlerinin fizikokimyasal, mikrobiyolojik ve duyusal özelliklerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Pamukkale Üniversitesi.
- Bamm, V.V., Tsemakhovich, V. A., Shaklai, N. 2003. Oxidation of low-density lipoprotein by hemoglobin–hemichrome. The International Journal Of Biochemistry & Cell Biology, 35(3), 349-358.
- Bao, Y., Ertbjerg, P. 2015. Relationship between oxygen concentration, shear force and protein oxidation in modified atmosphere packaged pork. Meat Science, 110, 174-179.
- Bao, Y., Ertbjerg, P. 2019. Effects of protein oxidation on the texture and water-holding of meat: A review. Critical Reviews In Food Science And Nutrition, 59(22), 3564-3578.
- Bao, Y., Ertbjerg, P., Estévez, M., Yuan, L., Gao, R. 2021. Freezing of meat and aquatic food: Underlying mechanisms and implications on protein oxidation. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 20(6), 5548-5569.

- Berger, J., Kim, Y. H. B., Legako, J. F., Martini, S., Lee, J., Ebner, P., Zuelly, S. M. S. 2018. Dry-aging improves meat quality attributes of grass-fed beef loins. *Meat Science*, 145, 285-291.
- 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 Science*, 121, 359-364.
- Biesalski, H. K. 2005. Meat as a component of a healthy diet—are there any risks or benefits if meat is avoided in the diet?. *Meat science*, 70(3), 509-524.
- Bischof, G., Witte, F., Terjung, N., Heinz, V., Juadjur, A., Gibis, M. 2022. Metabolic, proteomic and microbial changes postmortem and during beef aging. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-34.
- Botsoglou, E., Govaris, A., Ambrosiadis, I., & Fletouris, D. 2012. Lipid and protein oxidation of α -linolenic acid-enriched pork during refrigerated storage as influenced by diet supplementation with olive leaves (*Olea europea* L.) or α -tocopheryl acetate. *Meat Science*, 92(4), 525-532.
- Cando, D., Morcuende, D., Utrera, M., Estévez, M. 2014. Phenolic-rich extracts from Willowherb (*Epilobium hirsutum* L.) inhibit lipid oxidation but accelerate protein carbonylation and discoloration of beef patties. *European Food Research and Technology*, 238, 741-751.
- Chaijan, M. 2008. Lipid and myoglobin oxidations in muscle foods. *Songklanakarin Journal of Science & Technology*, 30(1).
- Cheng, W., Sun, D-W., Pu, H., Wei, Q., 2018. Heterospectral two-dimensional correlation analysis with near-infrared hyperspectral imaging for monitoring oxidative damage of pork myofibrils during frozen storage. *Food Chemistry*, 248, 119-127.
- Cheng, Y., Yin, X., Xu, L., Yu, H., Xie, Y., Guo, Y., ... Qian, H. 2023. Correlation analysis on the quality indicators of intensified dry-aged beef and microbial succession during fermentation. *Food Bioscience*, 56, 103439.
- Coombs, C. E., Holman, B. W., Collins, D., Kerr, M. J., Friend, M. A., & Hopkins, D. L. (2018). Effects of chilled-then-frozen storage (up to 52 weeks) on an indicator of protein oxidation and indices of protein degradation in lamb *M. longissimus lumborum*. *Meat Science*, 135, 134-141.
- Cruz-Hernandez, A., Agim, Z. S., Montenegro, P. C., McCabe, G. P., Rochet, J. C., Cannon, J. R. 2018. Selective dopaminergic neurotoxicity of three heterocyclic amine subclasses in primary rat midbrain neurons. *Neurotoxicology*, 65, 68-84.
- Daneshvar, B., Frandsen, H., Autrupand, H., Dragsted, L. O. 1997. γ -Glutamyl semialdehyde and 2-amino-adipic semialdehyde: biomarkers of oxidative damage to proteins. *Biomarkers*, 2(2), 117-123.
- Dashdorj, D., Tripathi, V. K., Cho, S., Kim, Y., Hwang, I. 2016. Dry aging of beef; Review. *Journal Of Animal Science And Technology*, 58(1), 1-11.
- Davies, M.J. Oxidative damage to proteins. In *Encyclopedia of Radicals in Chemistry, Biology and Materials*; Chatgililoglu, C., Studer, A., Eds.; American Cancer Society: New York, NY, USA, 2012; pp. 1425–1457.
- de Carvalho, F. A. L., Lorenzo, J. M., Pateiro, M., Bermúdez, R., Purriños, L., Trindade, M. A. 2019. Effect of guarana (*Paullinia cupana*) seed and pitanga (*Eugenia uniflora* L.) leaf extracts on lamb burgers with fat replacement by chia oil emulsion during shelf life storage at 2 C. *Food Research International*, 125, 108554.

- DeGeer, S. L., Hunt, M. C., Bratcher, C. L., Crozier-Dodson, B. A., Johnson, D. E., Stika, J. F. 2009. Effects of dry aging of bone-in and boneless strip loins using two aging processes for two aging times. *Meat Science*, 83(4), 768-774.
- Demircioğlu, K.S. 2011. Kuru ve yaş olgunlaştırma yöntemlerinin taze sığır et kalitesi üzerine etkilerinin araştırılması. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- DeRosa, M. C., Crutchley, R.J. 2002. Photosensitized singlet oxygen and its applications. *Coordination Chemistry Reviews*, 233, 351-371.
- Dikeman, M. E., Obuz, E., Gök, V., Akkaya, L., Stroda, S. 2013. Effects of dry, vacuum, and special bag aging; USDA quality grade; and end-point temperature on yields and eating quality of beef *Longissimus lumborum* steaks. *Meat Science*, 94(2), 228-233.
- Domínguez, R., Munekata, P. E. S., Pateiro, M., Lorenzo, J. M. 2021. Heterocyclic aromatic amines in cooked food: Toxicology and analysis. In *Food Toxicology and Forensics* (pp. 421-460). Academic Press.
- Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F. J., Zhang, W., Lorenzo, J. M. 2019a. 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. 2022. Protein oxidation in muscle foods: A comprehensive review. *Antioxidants*, 11(1), 60.
- Domínguez, R., Purriños, L., Pérez-Santaescolástica, C., Pateiro, M., Barba, F. J., Tomasevic, I., ... Lorenzo, J. M. 2019b. Characterization of volatile compounds of dry-cured meat products using HS-SPME-GC/MS technique. *Food Analytical Methods*, 12, 1263-1284.
- Douny, C., Tihon, A., Bayonnet, P., Brose, F., Degand, G., Rozet, E., ... Scippo, M. L. 2014. Validation of the analytical procedure for the determination of malondialdehyde and three other aldehydes in vegetable oil using liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry (LC-MS/MS) and application to linseed oil. *Food Analytical Methods*, 8, 1425-1435.
- Erdemir, E. 2017. Pastırma üretiminde potasyum laktat kullanımının protein oksidasyonu, serbest amino asit ve diğer bazı kalitatif özellikler üzerine etkisi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi.
- Estévez, M. 2011. Protein carbonyls in meat systems: A review. *Meat science*, 89(3), 259-279.
- Estévez, M., Díaz-Velasco, S., Martínez, R. 2021. Protein carbonylation in food and nutrition: a concise update. *Amino Acids*, 1-15.
- Estévez, M., Heinonen, M. 2010. Effect of phenolic compounds on the formation of α -amino adipic and γ -glutamic semialdehydes from myofibrillar proteins oxidized by copper, iron, and myoglobin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(7), 4448-4455.
- Estévez, M., Luna, C. 2017. Dietary protein oxidation: A silent threat to human health?. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(17), 3781-3793.
- Estévez, M., Ventanas, S., Heinonen, M., Puolanne, E. 2011. Protein carbonylation and water-holding capacity of pork subjected to frozen storage: Effect of muscle type, premincing, and packaging. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, 59(10), 5435-5443.

- Falowo, A. B., Fayemi, P. O., Muchenje, V. 2014. Natural antioxidants against lipid–protein oxidative deterioration in meat and meat products: A review. *Food Research International*, 64, 171-181.
- Ferreira, V.C., Morcuende, D., Madruga, M. S., Silva, F.A., Estévez, M. 2018. Role of protein oxidation in the nutritional loss and texture changes in ready-to-eat chicken patties. *International Journal of Food Science & Technology*, 53(6), 1518-1526.
- Fu, Q.Q., Ge, Q.F., Liu, R., Wang, H. O., Zhou, G.H., Zhang, W. G. 2017. Influence of modified atmosphere packaging on protein oxidation, calpain activation and desmin degradation of beef muscles. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(13), 4508-4514.
- Gökalp, H.Y., Kaya, M., Tülek, Y., Zorba, Ö., 2010. Et ve Ürünlerinde Kalite Kontrolü ve Laboratuvar Uygulama Kılavuzu. Atatürk Üniv. Yayın No: 751, Ziraat Fak. Yayın No: 318, Ders Kitapları Serisi No: 63, Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Ofset Tesisi, Erzurum.
- Grinshtein, N., Bamm, V. V., Tsemakhovich, V. A., Shaklai, N. 2003. Mechanism of low-density lipoprotein oxidation by hemoglobin-derived iron. *Biochemistry*, 42(23), 6977-6985.
- Grosvenor, A. J., Morton, J. D., Dyer, J. M. 2010. Profiling of residue-level photo-oxidative damage in peptides. *Amino Acids*, 39, 285-296.
- Guyon, C., Meynier, A., de Lamballerie, M. 2016. Protein and lipid oxidation in meat: A review with emphasis on high-pressure treatments. *Trends in Food Science & Technology*, 50, 131-143.
- Ha, M., McGilchrist, P., Polkinghorne, R., Huynh, L., Galletly, J., Kobayashi, K., ... Warner, R. D. 2019. Effects of different ageing methods on colour, yield, oxidation and sensory qualities of Australian beef loins consumed in Australia and Japan. *Food Research International*, 125, 108528.
- Halliwell, B., Gutteridge, J.M. 2015. *Free radicals in biology and medicine*. Oxford university press, USA.
- Hayward, S., Cilliers, T., Swart, P. 2017. Lipoxygenases: from isolation to application. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(1), 199-211.
- Hellwig, M. 2019. The chemistry of protein oxidation in food. *Angewandte Chemie International Edition*, 58(47), 16742-16763.
- Hellwig, M. 2020. Analysis of protein oxidation in food and feed products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(46), 12870-12885.
- Hematyar, N., Rustad, T., Sampels, S., Kastrup Dalsgaard, T. 2019. Relationship between lipid and protein oxidation in fish. *Aquaculture Research*, 50(5), 1393-1403.
- Hu, L., Ren, S., Shen, Q., Chen, J., Ye, X., Ling, J. 2017. Proteomic study of the effect of different cooking methods on protein oxidation in fish fillets. *Rsc Advances*, 7(44), 27496-27505.
- Huff-Lonergan, E., Lonergan, S. M. 2005. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Science*, 71(1), 194-204.
- Huff-Lonergan, E., Zhang, W., Lonergan, S. M. 2010. Biochemistry of postmortem muscle—Lessons on mechanisms of meat tenderization. *Meat Science*, 86(1), 184-195.

- Hulánková, R., Kameník, J., Saláková, A., Závodský, D., Borilova, G. 2018. The effect of dry aging on instrumental, chemical and microbiological parameters of organic beef loin muscle. *Lwt*, 89, 559-565.
- Kaya, M. 2024. Et teknolojisi. Ders Notları, Atatürk Üniversitesi.
- Kehm, R., Baldensperger, T., Raupbach, J., Höhn, A. 2021. Protein oxidation-formation mechanisms, detection and relevance as biomarkers in human diseases. *Redox Biology*, 42, 101901.
- Kim, J.H., Kim, T.K., Shin, D.M., Kim, H.W., Kim, Y.B., Choi, Y. S. 2020. Comparative effects of dry-aging and wet-aging on physicochemical properties and digestibility of Hanwoo beef. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 33(3), 501.
- Kim, Y.H.B., Kemp, R., Samuelsson, L. M. 2016. Effects of dry-aging on meat quality attributes and metabolite profiles of beef loins. *Meat Science*, 111, 168-176.
- Kim, Y.H.B., Ma, D., Setyabrata, D., Farouk, M. M., Lonergan, S. M., Huff-Lonergan, E., Hunt, M. C. 2018. Understanding postmortem biochemical processes and post-harvest aging factors to develop novel smart-aging strategies. *Meat Science*, 144, 74-90.
- Koohmaraie, M., Geesink, G. H. 2006. Contribution of postmortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system. *Meat science*, 74(1), 34-43.
- Kosmopoulos, M., Drekolias, D., Zavras, P.D., Piperi, C., Papavassiliou, A. G. 2019. Impact of advanced glycation end products (AGEs) signaling in coronary artery disease. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Basis of Disease*, 1865(3), 611-619.
- Kussendrager, K.D., Van Hooijdonk, A.C.M. 2000. Lactoperoxidase: physico-chemical properties, occurrence, mechanism of action and applications. *British Journal of Nutrition*, 84(S1), 19-25.
- Lee, H.J., Choe, J., Kim, K. T., Oh, J., Lee, D. G., Kwon, K. M., ... Jo, C. 2017. Analysis of low-marbled Hanwoo cow meat aged with different dry-aging methods. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 30(12), 1733.
- Leighton, P.L.A., Barragán-Hernández, W., López-Campos, Ó., Segura, J., Aalhus, J. L., Prieto, N. 2023. Effects of in-the-bag dry-ageing on meat quality, palatability and volatile compounds of low-value beef cuts. *Meat Science*, 202, 109219.
- Lewicki, P. P. 2004. Drying. In (1st ed., *Encyclopedia of Meat Science* Encyclopedia of meat science (pp. 402–411).
- Li, L., Liu, Y., Zou, X., He, J., Xu, X., Zhou, G., Li, C. 2017. In vitro protein digestibility of pork products is affected by the method of processing. *Food Research International*, 92, 88-94.
- Liu, R., Warner, R. D., Zhou, G., Zhang, W. 2018. Contribution of nitric oxide and protein S-nitrosylation to variation in fresh meat quality. *Meat Science*, 144, 135-148.
- Longo, V., Lana, A., Bottero, M. T., Zolla, L. 2015. Apoptosis in muscle-to-meat aging process: The omic witness. *Journal of Proteomics*, 125, 29-40.
- Lorido, L., Ventanas, S., Akcan, T., Estévez, M. 2016. Effect of protein oxidation on the impaired quality of dry-cured loins produced from frozen pork meat. *Food Chemistry*, 196, 1310-1314.
- Lund, M. N., Heinonen, M., Baron, C. P., Estévez, M. 2011. Protein oxidation in muscle foods: A review. *Molecular nutrition & food research*, 55(1), 83-95.

- Lund, M. N., Lametsch, R., Hviid, M. S., Jensen, O. N., Skibsted, L. H. 2007. High-oxygen packaging atmosphere influences protein oxidation and tenderness of porcine longissimus dorsi during chill storage. *Meat Science*, 77(3), 295-303.
- Ma, J., Wang, X., Li, Q., Zhang, L., Wang, Z., Han, L., Yu, Q. 2021. Oxidation of myofibrillar protein and crosslinking behavior during processing of traditional air-dried yak (*Bos grunniens*) meat in relation to digestibility. *Lwt*, 142, 110984.
- Marino, R., Albenzio, M., Della Malva, A., Santillo, A., Loizzo, P., Sevi, A. 2013. Proteolytic pattern of myofibrillar protein and meat tenderness as affected by breed and aging time. *Meat Science*, 95(2), 281-287.
- Martinaud A, Mercier Y, Marinova P, Tassy C, Gatellier P, Renerre M. 1997. Comparison of oxidative processes on myofibrillar proteins from beef during maturation and by different model oxidation systems, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 2481-2487.
- Mello, C. F., Sultana, R., Piroddi, M., Cai, J., Pierce, W. M., Klein, J. B., Butterfield, D. A. 2007. Acrolein induces selective protein carbonylation in synaptosomes. *Neuroscience*, 147(3), 674-679.
- Mercier, Y., Gatellier, P., Renerre, M. 2004. Lipid and protein oxidation in vitro, and antioxidant potential in meat from Charolais cows finished on pasture or mixed diet. *Meat Science*, 66(2), 467-473.
- Mikami, N., Toyotome, T., Yamashiro, Y., Sugo, K., Yoshitomi, K., Takaya, M., ... Shimada, K. 2021. Dry-aged beef manufactured in Japan: Microbiota identification and their effects on product characteristics. *Food Research International*, 140, 110020.
- Mitra, B., Lametsch, R., Akcan, T., Ruiz-Carrascal, J. 2018. Pork proteins oxidative modifications under the influence of varied time-temperature thermal treatments: A chemical and redox proteomics assessment. *Meat Science*, 140, 134-144.
- Molina, I. and Toldra, F., 1992. Detection of proteolytic activity in microorganisms isolated from dry-cured ham. *Journal of Food Science*, 57, 1308–1310.
- Morzel, M., Gatellier, P., Sayd, T., Renerre, M., Laville, E. 2006. Chemical oxidation decreases proteolytic susceptibility of skeletal muscle myofibrillar proteins. *Meat science*, 73(3), 536-543.
- Nawaz, A., Irshad, S., Khan, I. A., Khalifa, I., Walayat, N., Aadil, R. M., ... Lorenzo, J. M. 2022. Protein oxidation in muscle-based products: Effects on physicochemical properties, quality concerns, and challenges to food industry. *Food Research International*, 157, 111322.
- Negishi, H., Yamamoto, E., Kuwata, T. 1996. The origin of the 30 kDa component appearing during post-mortem ageing of bovine muscle. *Meat Science*, 42(3), 289-303.
- Nowotny, K., Schröter, D., Schreiner, M., Grune, T. 2018. Dietary advanced glycation end products and their relevance for human health. *Ageing research reviews*, 47, 55-66.
- Obuz, E., Akkaya, L., Gök, V., Dikeman, M. E. 2014. Effects of blade tenderization, aging method and aging time on meat quality characteristics of Longissimus lumborum steaks from cull Holstein cows. *Meat science*, 96(3), 1227-1232.
- Oh, H., Lee, H. J., Lee, J., Jo, C., Yoon, Y. 2019. Identification of microorganisms associated with the quality improvement of dry-aged beef through microbiome analysis and DNA sequencing, and evaluation of their effects on beef quality. *Journal of Food Science*, 84(10), 2944-2954.

- Öz, E. 2018. Kas tipinin pastırmanın proteolitik değişimleri ve bazı kalitatif özelliklerine etkisi (Doctoral dissertation).
- Kilic, S., Oz, E., Oz, F. 2021. Effect of turmeric on the reduction of heterocyclic aromatic amines and quality of chicken meatballs. *Food Control*, 128, 108189.
- Oz, E., Aoudeh, E., Murkovic, M., Toldra, F., Gomez-Zavaglia, A., Brennan, C., ... Oz, F. 2023. Heterocyclic aromatic amines in meat: Formation mechanisms, toxicological implications, occurrence, risk evaluation, and analytical methods. *Meat Science*, 109312.
- 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), e13007.
- Özyurt, H., Luna, C., Estévez, M. 2016. Redox chemistry of the molecular interactions between tea catechins and human serum proteins under simulated hyperglycemic conditions. *Food & function*, 7(3), 1390-1400.
- Papuc, C., Goran, G. V., Predescu, C. N., Nicorescu, V. 2017. Mechanisms of oxidative processes in meat and toxicity induced by postprandial degradation products: A review. *Comprehensive Reviews in food science and food safety*, 16(1), 96-123.
- Pateiro, M., Vargas, F. C., Chinchá, A. A., Sant'Ana, A. S., Strozzi, I., Rocchetti, G., ... Lorenzo, J. M. 2018. Guarana seed extracts as a useful strategy to extend the shelf life of pork patties: UHPLC-ESI/QTOF phenolic profile and impact on microbial inactivation, lipid and protein oxidation and antioxidant capacity. *Food Research International*, 114, 55-63.
- Pattison, D. I., Rahmanto, A. S., Davies, M.J. 2012. Photo-oxidation of proteins. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 11(1), 38-53.
- Polak, M. L., Kuhar, M., Zahija, I., Demšar, L., Polak, T. 2023. Oxidative Stability and Quality Parameters of Veal During Ageing. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 73(1), 1-8.
- Requena, J.R., Chao, C.C., Levine, R.L., Stadtman, E.R. 2001. Glutamic and aminoadipic semialdehydes are the main carbonyl products of metal-catalyzed oxidation of proteins. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(1), 69-74.
- Ribeiro, F.A., Lau, S.K., Furbeck, R.A., Herrera, N.J., Henriott, M. L., Bland, N. A., ... Calkins, C. R. 2021. Ultimate pH effects on dry-aged beef quality. *Meat Science*, 172, 108365.
- Rodríguez-Carpena, J.G., Morcuende, D., Estévez, M. 2011. Avocado by-products as inhibitors of color deterioration and lipid and protein oxidation in raw porcine patties subjected to chilled storage. *Meat science*, 89(2), 166-173.
- Roldan, M., Antequera, T., Armenteros, M., Ruiz, J. 2014. Effect of different temperature–time combinations on lipid and protein oxidation of sous-vide cooked lamb loins. *Food Chemistry*, 149, 129-136.
- Santé-Lhoutellier, V., Astruc, T., Marinova, P., Greve, E., Gatellier, P. 2008. Effect of meat cooking on physicochemical state and in vitro digestibility of myofibrillar proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(4), 1488-1494.
- Sante-Lhoutellier, V., Aubry, L., Gatellier, P. 2007. Effect of oxidation on in vitro digestibility of skeletal muscle myofibrillar proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(13), 5343-5348.

- Schaich, K. M., Pryor, W.A. 1980. Free radical initiation in proteins and amino acids by ionizing and ultraviolet radiations and lipid oxidation—Part III: Free radical transfer from oxidizing lipids. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 13(3), 189-244.
- Serdaroğlu, M., Öztürk-Kerimoğlu, B., Zungur-Bastioğlu, A., Kavuşan, H. S., Ötleş, S., Özyurt, V. H. 2022. Lipid-Protein Oxidation and In Vitro Digestibility of Fermented Turkey Sausages as Affected by Lipid Formulation. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 124(10), 2100243.
- Shi, Y., Zhang W, Zhou G. 2020. Effects of Different Moisture-Permeable Packaging on the Quality of Aging Beef Compared with Wet Aging and Dry Aging, *Foods*, 9(5), 649.
- Silva, F. A., Estévez, M., Ferreira, V. C., Silva, S. A., Lemos, L. T., Ida, E. I., ... Madruga, M. S. 2018. Protein and lipid oxidations in jerky chicken and consequences on sensory quality. *Lwt*, 97, 341-348.
- Smith, R. D., Nicholson, K. L., Nicholson, J. D. W., Harris, K. B., Miller, R. K., Griffin, D. B., Savell, J. W. 2008. Dry versus wet aging of beef: Retail cutting yields and consumer palatability evaluations of steaks from US Choice and US Select short loins. *Meat science*, 79(4), 631-639.
- Silva, F. A., Ferreira, V. C., Madruga, M. S., Estévez, M. 2016. Effect of the cooking method (grilling, roasting, frying and sous-vide) on the oxidation of thiols, tryptophan, alkaline amino acids and protein cross-linking in jerky chicken. *Journal of food science and technology*, 53, 3137-3146.
- Soglia, F., Petracci, M., Ertbjerg, P. 2016. Novel DNPH-based method for determination of protein carbonylation in muscle and meat. *Food chemistry*, 197, 670-675.
- Soladoye, O.P., Juárez, M.L., Aalhus, J.L., Shand, P., Estévez, M. 2015. Protein oxidation in processed meat: Mechanisms and potential implications on human health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(2), 106-122.
- 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 Research International*, 99, 660-669.
- Stadtman, E.R., Levine, R.L. 2003. Free radical-mediated oxidation of free amino acids and amino acid residues in proteins. *Amino acids*, 25, 207-218.
- Terjung, N., Witte, F., Heinz, V. 2021. The dry aged beef paradox: Why dry aging is sometimes not better than wet aging. *Meat Science*, 172, 108355.
- Traore, S., Aubry, L., Gatellier, P., Przybylski, W., Jaworska, D., Kajak-Siemaszko, K., Santé-Lhoutellier, V. 2012. Higher drip loss is associated with protein oxidation. *Meat science*, 90(4), 917-924.
- Traverso, N., Menini, S., Cottalasso, D., Odetti, P., Marinari, U. M., Pronzato, M. A. 1997. Mutual interaction between glycation and oxidation during non-enzymatic protein modification. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 1336(3), 409-418.
- Trnkova, L., Dršata, J., Boušová, I. 2015. Oxidation as an important factor of protein damage: Implications for Maillard reaction. *Journal of Biosciences*, 40, 419-439.
- Utama, D. T., Kim, Y. J., Jeong, H. S., Kim, J., Barido, F. H., Lee, S. K. 2020. Comparison of meat quality, fatty acid composition and aroma volatiles of dry-aged beef from Hanwoo cows slaughtered at 60 or 80 months old. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 33(1), 157.

- Utrera, M., Armenteros, M., Ventanas, S., Solano, F., Estévez, M. 2012. Pre-freezing raw hams affects quality traits in cooked hams: Potential influence of protein oxidation. *Meat Science*, 92(4), 596-603.
- Utrera, M., Estévez, M. 2013. Oxidative damage to poultry, pork, and beef during frozen storage through the analysis of novel protein oxidation markers. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61(33), 7987-7993.
- Utrera, M., Estévez, M. 2013a. Impact of trolox, quercetin, genistein and gallic acid on the oxidative damage to myofibrillar proteins: The carbonylation pathway. *Food chemistry*, 141(4), 4000-4009.
- Utrera, M., Morcuende, D., Ganhão, R., Estévez, M. 2015. Role of phenolics extracting from *Rosa canina* L. on meat protein oxidation during frozen storage and beef patties processing. *Food and Bioprocess Technology*, 8, 854-864.
- Utrera, M., Morcuende, D., Rodríguez-Carpena, J. G., Estévez, M. 2011. Fluorescent HPLC for the detection of specific protein oxidation carbonyls— α -amino adipic and γ -glutamic semialdehydes—in meat systems. *Meat Science*, 89(4), 500-506.
- Utrera, M., Parra, V., Estévez, M. 2014. Protein oxidation during frozen storage and subsequent processing of different beef muscles. *Meat science*, 96(2), 812-820.
- Vallejo-Torres, C., Estévez, M., Ventanas, S., Martínez, S. L., Morcuende, D. 2023. The pro-oxidant action of high-oxygen MAP on beef patties can be counterbalanced by antioxidant compounds from common hawthorn and rose hips. *Meat Science*, 204, 109282.
- Wang, B., Li, F., Pan, N., Kong, B., Xia, X. 2021. Effect of ice structuring protein on the quality of quick-frozen patties subjected to multiple freeze-thaw cycles. *Meat Science*, 172, 108335.
- Wang, H., Wang, Y., Wu, D., Gao, S., Jiang, S., Tang, H., ... Meng, X. 2022. Changes in physicochemical quality and protein properties of porcine longissimus lumborum during dry ageing. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(9), 5954-5965.
- Wang, X., Xiong, Y. L., Sato, H., Kumazawa, Y. 2016. Controlled cross-linking with glucose oxidase for the enhancement of gelling potential of pork myofibrillar protein. *Journal of agricultural and food chemistry*, 64(50), 9523-9531.
- Williams, T.I., Lynn, B.C., Markesbery, W.R., Lovell, M.A. 2006. Increased levels of 4-hydroxynonenal and acrolein, neurotoxic markers of lipid peroxidation, in the brain in Mild Cognitive Impairment and early Alzheimer's disease. *Neurobiology of aging*, 27(8), 1094-1099.
- Wu, X., Zhang, Z., He, Z., Wang, Z., Qin, F., Zeng, M., Chen, J. 2021. Effect of freeze-thaw cycles on the oxidation of protein and fat and its relationship with the formation of heterocyclic aromatic amines and advanced glycation end products in raw meat. *Molecules*, 26(5), 1264.
- Xia, C., Wen, P., Yuan, Y., Yu, X., Chen, Y., Xu, H., ... Wang, J. 2021. Effect of roasting temperature on lipid and protein oxidation and amino acid residue side chain modification of beef patties. *RSC advances*, 11(35), 21629-21641.
- Xiong, Y.L., Guo, A. 2020. Animal and plant protein oxidation: Chemical and functional property significance. *Foods*, 10(1), 40.

- Xu, F. 1996. Oxidation of phenols, anilines, and benzenethiols by fungal laccases: correlation between activity and redox potentials as well as halide inhibition. *Biochemistry*, 35(23), 7608-7614.
- Xue, S., Setyabrata, D., Bonham, C. C., Kim, Y. H. B. 2021. Evaluation of functional and chemical properties of crust from dry-aged beef loins as a novel food ingredient. *Meat Science*, 173, 108403.
- Zhang, R., Yoo, M. J., Farouk, M. M. 2021. Oxidative stability, proteolysis, and in vitro digestibility of fresh and long-term frozen stored in-bag dry-aged lean beef. *Food Chemistry*, 344, 128601.
- Zhang, R., Yoo, M. J., Realini, C. E., Staincliffe, M., Farouk, M. M. 2020. In-bag dry-vs. wet-aged lamb: Quality, consumer acceptability, oxidative stability and in vitro digestibility. *Foods*, 10(1), 41.
- 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.
- Zhang, Y., Bai, G., Wang, J., Wang, Y., Jin, G., Teng, W., ... Cao, J. 2023. Myofibrillar protein denaturation/oxidation in freezing-thawing impair the heat-induced gelation: Mechanisms and control technologies. *Trends in Food Science & Technology*.
- Zhang, Y., Guo, X., Peng, Z., Jamali, M. A. 2022. A review of recent progress in reducing NaCl content in meat and fish products using basic amino acids. *Trends in Food Science & Technology*, 119, 215-226.
- Zhao, X., Chen, X., Yuk, H., Lin, S., Liu, X., Parada, G. 2021. Soft materials by design: unconventional polymer networks give extreme properties. *Chemical Reviews*, 121(8), 4309-4372.
- Zhou, F., Zhao, M., Zhao, H., Sun, W., Cui, C. 2014. Effects of oxidative modification on gel properties of isolated porcine myofibrillar protein by peroxy radicals. *Meat Science*, 96(4), 1432-1439.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Adem SAVAŞ
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
Adres:	
Tel:	
E-mail:	
Eğitim	
Lisans:	2012-2016
Yüksek lisans:	2017-2019
Doktora:	2019
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	İyi
	-
	-
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar	
Yayınlar	
- Savaş, A., Oz, E., & Oz, F. (2021). Is oven bag really advantageous in terms of heterocyclic aromatic amines and bisphenol-A? Chicken meat perspective. <i>Food Chemistry</i>, 355, 129646. - Öz, E., Ekiz, E., Savaş, A., Aoudeh, E., EL-ATY, A. A., & Öz, F. (2021). Impact of roasting level on fatty acid composition, oil and polycyclic aromatic hydrocarbon contents of various dried nuts. <i>Turkish Journal of Agriculture and Forestry</i>, 45(2), 213-221. - Savaş, A., Ekiz, E., Elbir, Z., Savaş, B. D., Proestos, C., Elobeid, T., ... & Oz, F. (2023). Advantageous effects of sumac usage in meatball preparation on various quality criteria and formation of heterocyclic aromatic amines. <i>Separations</i>, 10(1), 29.	

- Ekiz, E., **Savaş, A.**, Aoudeh, E., Elbir, Z., Oz, E., Proestos, C., ... & Oz, F. (2023). Impact of Cumin (Cuminum cyminum) Incorporation on the Generation of Heterocyclic Aromatic Amines in Meatballs. *Separations*, 10(8), 458.
- Elbir, Z., Ekiz, E., Aoudeh, E., Oz, E., **Savaş, A.**, Brennan, C., ... & Oz, F. (2023). Enhancing effect of chia seeds on heterocyclic amine generation in meatball. *International Journal of Food Science & Technology*, 58(5), 2560-2572.
- Oz, E., **Savaş, A.**, Ekiz, E., & Oz, F. (2021). Mangalda Pişirilmiş Sebzelerin Polisiklik Aromatik Hidrokarbon İçeriği. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 36(1), 13-22.

Kitap Bölümü

- **Savaş, A.**, & Oz, F. (2021). The Effect of Oven Bag Usage on The Formation of Heterocyclic Aromatic Amines in Chicken Meat Cooked in Oven. *Research & Reviews In Engineering-I*, 29. Mühendislik Alanında Araştırma ve Değerlendirmeler, Prof.Dr. Banu Nergis, Doç.Dr. Selahattin Bardak, Doç.Dr. Mahmut Kayar, Dr. Arif Furkan Mendi, Editör, Gece Kitaplığı, Ankara, ss.29-48, 2021