

**T.C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

**VAKUM ALTINDA OHMİK ISITMA İŞLEMİYLE
KÖFTELERİN ÖN PİŞİRİLMESİ VE
SOĞUTULMASI**

Hande Özge GÜLER DAL

Danışman: Prof. Dr. Yusuf YILMAZ

BURDUR, 2023

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri uyarınca Doktora Tezi olarak sunduğum “**Vakum Altında Ohmik Isıtma İşlemiyle Köftelerin Ön Pişirilmesi ve Soğutulması**” başlıklı bu tezin;

- Kendi çalışmam olduğunu,
- Sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi,
- Bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi,
- Kullandığım verilerde değişiklik yapmadığımı,
- Tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı,
- Bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı,

bildirir, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

03/11/2023

(İmza)

Hande Özge GÜLER DAL

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın her aşamasında bilgi ve tecrübeleri ile beni yönlendiren ve destekleyen, karşılaştığım sorunlarda yardımını esirgemeyen danışman hocam Sayın **Prof. Dr. Yusuf YILMAZ**'a hoşgörüsü ve ayırdığı değerli zamanı için teşekkür ederim. Çalışmamdaki tüm destek ve tez izleme komitesi üyesi olarak değerli katkılarından ötürü Gıda Mühendisliği Bölüm ve Anabilim Dalı Başkanı değerli hocam Sayın Prof. Dr. Oğuz GÜRSOY'a, tez çalışmalarım sırasında değerli görüşleri ile önemli katkılar sağlayan tez izleme komitesi üyesi hocam Prof. Dr. Ayhan TOPUZ'a, eğitim sürecimde emeği ve katkısı büyük olan değerli hocam Prof. Dr. Filiz İÇİER'e, eğitim ve çalışmalarımda verdiği kıymetli destekler için çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Şükran KULEAŞAN ile diğer bölüm hocalarıma ve yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Doktora tezimi 0808-DR-22 numaralı proje ile maddi olarak destekleyen Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne ve projedeki ilave maddi destekten ötürü Üniversitemiz Tarım ve Hayvancılık Kalkınma Projesi Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim. Doktora çalışmalarım esnasında "TÜBİTAK-BİDEB 2211-Yurtiçi Doktora Burs Programı" kapsamında burs ve 1230245 proje numaralı "TÜBİTAK-ARDEB 1002-B Acil Destek Modülü" kapsamında finansal destek sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na teşekkür ederim.

Tez çalışmasında vakum basıncı altında ohmik ısıtmanın gerçekleştirilmesinde kullanılan vakumlu etüvün modifiye edilmesi ve ohmik ısıtma ünitesinin etüve entegrasyonunda yardımcı olan Levent DALMIŞ'a, köfte örneklerinin protein analizleri ile mikroskop görüntülerinin elde edilmesinde katkıları olan Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi çalışanı değerli hocalarım ve çalışma arkadaşlarıma yardım ve desteklerinden ötürü teşekkür ederim.

Son olarak, bugünlere gelmemi sağlayan, maddi ve manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim, sevgisini ve ilgisini hiçbir zaman eksik etmeyen kıymetli annem Türkan GÜLER ve babam Murat GÜLER ile kardeşim Begüm GÜLER'e, doktora eğitimi sürecimin her aşamasında benimle üzülp benimle sevinen, bana moral ve güç veren değerli eşim Umut Sergen DAL'a teşekkür ve sevgilerimi sunuyorum.

Kasım, 2023

Hande Özge GÜLER DAL

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
ÖZET.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	5
2.1. Tavuk ve Sığır Etinin Temel Özellikleri	5
2.2. Et ve Et Ürünlerine Uygulanan Isıl İşlemler	6
2.2.1. Ete Uygulanan Isıtma İşleminin Pişirme Kaybına Etkisi	9
2.2.2. Ete Uygulanan Isıtma İşleminin Tekstürel Özelliklere Etkisi	10
2.2.3. Ete Uygulanan Isıtma İşleminin Renk Özelliklerine Etkisi.....	11
2.2.4. Ete Uygulanan Isıtma İşleminin Diğer Bazı Kalite Özelliklerine Etkisi.....	12
2.3. Ohmik Isıtma.....	13
2.3.1. Ohmik Isıtmanın Tarihçesi	14
2.3.2. Ohmik Isıtmanın Prensibi ve Sistem Elemanları.....	14
2.3.3. Ohmik Isıtma İşlemini Etkileyen Faktörler	17
2.3.4. Ohmik Isıtma Tekniğinin Avantaj ve Dezavantajları	18
2.3.5. Ohmik Isıtmanın Gıdaların İşlenmesinde Uygulama Alanları	20
2.3.6. Ohmik Pişirme İşleminin Et ve Et ürünleri ile Kullanımı	25
2.3.7. Etin Pişirilmesinde Enerji Gereksinimi	28
2.4. Gıdaların Soğutulması.....	29
2.5. Vakum Soğutma	31
2.5.1. Vakum Soğutmanın Yöntemi, Prensipleri ve Ekipmanı.....	32
2.5.2. Vakum Soğutma Sisteminin Avantaj ve Dezavantajları	34
2.5.3. Vakum Soğutmanın Gıda Uygulamaları	36
2.5.4. Vakum Soğutmanın Et ve Et Ürünlerinde Kullanımı.....	37
3. MATERYAL VE YÖNTEM	39
3.1. Materyal	39
3.2. Yöntem	39
3.2.1. Elektriksel İletkenlik Değerlerinin Belirlenmesi	40
3.2.2. Elektriksel İletkenliğin Optimizasyonu	40
3.2.3. Geleneksel Ön Pişirme	41
3.2.4. Ohmik Isıtma ile Ön Pişirme	42
3.2.5. Vakum Soğutma	44
3.2.6. Pişirme ve Soğutma Süresi	45
3.2.7. Sıcaklık Dağılımı ile Homojenliğinin Ölçümü.....	45
3.2.8. Pişirme Kaybı	46
3.2.9. Soğutma Kaybı	46
3.2.10. Çap Değişimi	47
3.2.11. pH Değerleri	47
3.2.12. Ohmik Isıtmalı Ön Pişirme İşlemi Esnasında Elektriksel İletkenliğin Tayini	47
3.2.13. Toplam Kuru Madde İçeriği	47
3.2.14. Kül Tayini	48

3.2.15. Ham Yağ Tayini	48
3.2.16. Ham Protein Tayini	48
3.2.17. Tekstür Profili Analizi	48
3.2.18. Renk Analizi	49
3.2.19. Su Aktivitesi Tayini	49
3.2.20. Su Tutma Kapasitesi Analizi	50
3.2.21. Tiyoobarbitürik Asit Reaktif Maddeleri Analizi	50
3.2.22. Toplam Mezofilik Aerobik Bakteri Sayımı	50
3.2.23. Küf ve Maya Sayımı	51
3.2.24. Duyusal Analiz	51
3.2.25. Morfolojik Yapının Tespiti	53
3.2.26. Toplam ve Spesifik Enerji Tüketiminin Saptanması	53
3.2.27. Metal Migrasyonu Tayini	53
3.2.28. İstatistiksel Değerlendirme	54
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	55
4.1. Köfte Hamurlarına Ait İletkenlik Değerlerinin Optimizasyonu	55
4.1.1. Tavuk Eti Köfteleri	55
4.1.2. Sığır Eti Köfteleri	57
4.2. Ön Pişirme ve Soğutma Denemelerine Ait Bulgular	58
4.2.1. Tavuk Eti Köfteleri	58
4.2.2. Sığır Eti Köfteleri	63
4.3. Ön Pişirme ve Soğutma Sürelerine Ait Bulgular	67
4.3.1. Tavuk Eti Köfteleri	67
4.3.2. Sığır Eti Köfteleri	67
4.4. Ön Pişirme ve Soğutma Kaybı, Verimi ve Çap Değişimine Ait Bulgular	69
4.4.1. Tavuk Eti Köfteleri	69
4.4.2. Sığır Eti Köfteleri	70
4.5. Toplam Kuru Madde ve Kül Tayinine Ait Bulgular	73
4.5.1. Tavuk Eti Köfteleri	73
4.5.2. Sığır Eti Köfteleri	73
4.6. Ham Protein ve Yağ İçeriğine Ait Bulgular	74
4.6.1. Tavuk Eti Köfteleri	74
4.6.2. Sığır Eti Köfteleri	75
4.7. Su Tutma Kapasitesi ve Su Aktivitesine Ait Bulgular	76
4.7.1. Tavuk Eti Köfteleri	76
4.7.2. Sığır Eti Köfteleri	77
4.8. pH Değerlerinin Depolama ile Değişimine Ait Bulgular	78
4.8.1. Tavuk Eti Köfteleri	78
4.8.2. Sığır Eti Köfteleri	80
4.9. TBARS Değerlerinin Depolama ile Değişimine Ait Bulgular	82
4.9.1. Tavuk Eti Köfteleri	82
4.9.2. Sığır Eti Köfteleri	84
4.10. Renk Parametrelerinin Depolama ile Değişimine Ait Bulgular	87
4.10.1. Tavuk Eti Köfteleri	87
4.10.2. Sığır Eti Köfteleri	95
4.11. Tekstürel Özelliklerin Depolama ile Değişimine Ait Bulgular	105
4.11.1. Tavuk Eti Köfteleri	105
4.11.2. Sığır Eti Köfteleri	109
4.12. Mikrobiyolojik Özelliklerin Depolama ile Değişimine Ait Bulgular	114
4.12.1. Tavuk Eti Köfteleri	114

4.12.2. Sığır Eti Köfteleri	117
4.13. Ohmik Isıtmalı Ön Pişirme İşlemlerinin Ortalama Akım ve Efektif Elektriksel İletkenlik Değerlerine Etkisi	120
4.14. Mikroskop Görüntüleri	122
4.15. Termal Kamera Görüntüleri	124
4.16. Duyusal Sertlik ve Sululuk Analiz Bulguları	128
4.17. Enerji Tüketimi.....	131
4.18. Metal Seviyeleri	136
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	138
KAYNAKLAR	142
EKLER.....	155



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Ohmik ısıtmanın prensibi	16
Şekil 2.2. Suyun doyma sıcaklığı ve basıncı arasındaki ilişki	32
Şekil 2.3. Vakum soğutma işlemi sırasında hava ve buharın hareketi.....	33
Şekil 3.1. Vakum altında ohmik ısıtmalı ön pişirme ve vakum soğutma entegre ünitesinin şematik gösterimi.....	42
Şekil 3.2. Ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminde tavuk eti köftenin paslanmaz çelik elektrotlar arasındaki görüntüsü ile pişmiş köftenin görüntüsü	43
Şekil 3.3. Ohmik ısıtmalı ön pişirme ve vakum soğutma işlemlerine ait sistem elemanlarının görüntüsü.....	44
Şekil 4.1. Geleneksel ön pişirme ve vakum soğutma sırasında tavuk köftelerin merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim	59
Şekil 4.2. Atmosfer basıncında 10 V/cm voltaj gradyanında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme ve vakum soğutma sırasında tavuk köftelerin merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim.....	60
Şekil 4.3. Atmosfer basıncında 15 V/cm voltaj gradyanında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme ve vakum soğutma sırasında tavuk köftelerin merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim.....	60
Şekil 4.4. Atmosfer basıncında 20 V/cm voltaj gradyanında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme ve vakum soğutma sırasında tavuk köftelerin merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim.....	61
Şekil 4.5. Vakum altında 10 V/cm voltaj gradyanında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme ve vakum soğutma sırasında tavuk köftelerin merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim.....	61
Şekil 4.6. Vakum altında 15 V/cm voltaj gradyanında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme ve vakum soğutma sırasında tavuk köftelerin merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim.....	62
Şekil 4.7. Vakum altında 20 V/cm voltaj gradyanında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme ve vakum soğutma sırasında tavuk köftelerin merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim.....	62
Şekil 4.8. Geleneksel ön pişirme ve vakum soğutma sırasında sığır köftelerin merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim	63

Şekil 4.9. Atmosfer basıncında 10 V/cm voltaj gradyanında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme ve vakum soğutma sırasında sığır köftelerin merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim.....	64
Şekil 4.10. Atmosfer basıncında 15 V/cm voltaj gradyanında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme ve vakum soğutma sırasında sığır köftelerin merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim.....	64
Şekil 4.11. Atmosfer basıncında 20 V/cm voltaj gradyanında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme ve vakum soğutma sırasında sığır köftelerin merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim.....	65
Şekil 4.12. Vakum altında 10 V/cm voltaj gradyanında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme ve vakum soğutma sırasında sığır köftelerin merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim.....	65
Şekil 4.13. Vakum altında 15 V/cm voltaj gradyanında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme ve vakum soğutma sırasında sığır köftelerin merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim.....	66
Şekil 4.14. Vakum altında 20 V/cm voltaj gradyanında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme ve vakum soğutma sırasında sığır köftelerin merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim.....	66
Şekil 4.15. Tavuk köfte örneklerine ait TBARS değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın (+4°C) etkisi	83
Şekil 4.16. Sığır köfte örneklerine ait TBARS değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın (+4°C) etkisi	85
Şekil 4.17. Tavuk köfte örneklerinin dış yüzeyine ait toplam renk farkı (ΔE^*) üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın (+4°C) etkisi	91
Şekil 4.18. Sığır köfte örneklerinin dış yüzeyine ait toplam renk farkı (ΔE^*) üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın (+4°C) etkisi	100
Şekil 4.19. Tavuk ve sığır köfte örneklerinin atmosfer ve vakum basıncı altında ohmik ısıtmalı ön pişirilme işlemi sırasında köftelerin ortalama akım (A) değerlerindeki değişim	120
Şekil 4.20. Tavuk köftelerin stereo zoom mikroskopuyla çekilmiş görüntüleri (x8 kat) (A: Geleneksel ön pişirme, B, C ve D: Atmosfer basıncı altında sırasıyla 10, 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanlarında ohmik ısıtma ile ön pişirme, E, F ve G:	

Vakum basıncı altında sırasıyla 10, 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanlarında ohmik ısıtma ile ön pişirme).....	123
Şekil 4.21. Sığır köftelerin stereo zoom mikroskopuyla çekilmiş görüntüleri (x8 kat) (A: Geleneksel ön pişirme, B, C ve D: Atmosfer basıncı altında sırasıyla 10, 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanlarında ohmik ısıtma ile ön pişirme, E, F ve G: Vakum basıncı altında sırasıyla 10, 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanlarında ohmik ısıtma ile ön pişirme).....	123
Şekil 4.22. Geleneksel ve ohmik ısıtmalı ön pişirme sonrası tavuk köftelerin kesit yüzeyine ait termal kamera görüntüleri.....	125
Şekil 4.23. Geleneksel ve ohmik ısıtmalı ön pişirme sonrası sığır köftelerin kesit yüzeyine ait termal kamera görüntüleri.....	126
Şekil 4.24. Tavuk eti köftelerinin geleneksel ve farklı ohmik ısıtmalı ön pişirilmesi sırasında harcanan ortalama enerjinin (Wh) zamana karşı kümülatif değişimi	132
Şekil 4.25. Tavuk eti köftelerinin geleneksel ve farklı ohmik ısıtmalı ön pişirilmesini takiben vakum soğutulması sırasında harcanan ortalama enerjinin (Wh) zamana karşı kümülatif değişimi.....	132
Şekil 4.26. Sığır eti köftelerinin geleneksel ve farklı ohmik ısıtmalı ön pişirilmesi sırasında harcanan ortalama enerjinin (Wh) zamana karşı kümülatif değişimi	133
Şekil 4.27. Sığır eti köftelerinin geleneksel ve farklı ohmik ısıtmalı ön pişirilmesini takiben vakum soğutulması sırasında harcanan ortalama enerjinin (Wh) zamana karşı kümülatif değişimi.....	133

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Tavuk ve sığır etinin bileşim özellikleri (100 g için)	5
Çizelge 2.2. Ohmik ısıtma sürecini etkileyen değişkenler.....	15
Çizelge 2.3. Ohmik ısıtmanın gıdalardaki potansiyel uygulamaları.....	21
Çizelge 3.1. Yüzey yanıt metodolojisi tasarımında kullanılan bağımsız değişkenlerin kodlanmış ve gerçek değerleri.....	41
Çizelge 3.2. Duyusal eğitimde kullanılan standart numunelere ait sertlik ve sululuk parametreleri.....	52
Çizelge 4.1. Tavuk köftelerin elektriksel iletkenlik değerlerinin optimizasyonu amacıyla kullanılan merkezi karma tasarımında belirlenen deneme koşulları ve sonuçlar	55
Çizelge 4.2. Tavuk köfteleri ile gerçekleştirilen optimizasyon denemelerine ait ANOVA çizelgesi ve tasarım ölçütleri	56
Çizelge 4.3. Sığır köftelerin elektriksel iletkenlik değerlerinin optimizasyonu amacıyla kullanılan merkezi karma tasarımında belirlenen deneme koşulları ve sonuçlar	57
Çizelge 4.4. Sığır köfteleri ile gerçekleştirilen optimizasyon denemelerine ait ANOVA çizelgesi ve tasarım ölçütleri	58
Çizelge 4.5. Tavuk köftelerin ön pişirme, vakum soğutma ve toplam işlem süreleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi.....	68
Çizelge 4.6. Sığır köftelerin ön pişirme, vakum soğutma ve toplam işlem süreleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi.....	69
Çizelge 4.7. Tavuk köftelerin ön pişirme ve vakum soğutma kaybı ile çap değişimi değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi.....	70
Çizelge 4.8. Sığır köftelerin ön pişirme ve vakum soğutma kaybı ile çap değişimi değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi.....	72
Çizelge 4.9. Tavuk köftelerin toplam kuru madde ve kül içerikleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi	74
Çizelge 4.10. Sığır köftelerin toplam kuru madde ve kül içerikleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi	74
Çizelge 4.11. Tavuk köftelerin protein ve yağ içeriği üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi	75

Çizelge 4.12. Sığır köftelerin protein ve yağ içeriği üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi	76
Çizelge 4.13. Tavuk köftelerin su tutma kapasitesi (STK) ve su aktivitesi (aw) değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi	77
Çizelge 4.14. Sığır köftelerin su tutma kapasitesi (STK) ve su aktivitesi (aw) değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi	78
Çizelge 4.15. Tavuk köftelerin pH değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın (+4°C) etkisi	79
Çizelge 4.16. Tavuk köftelerin pH değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi	80
Çizelge 4.17. Sığır köftelerin pH değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın (+4°C) etkisi	81
Çizelge 4.18. Sığır köftelerin pH değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi	82
Çizelge 4.19. Tavuk köfte örneklerine ait TBARS değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi	84
Çizelge 4.20. Sığır köfte örneklerine ait TBARS değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi	86
Çizelge 4.21. Tavuk köfte örneklerinin dış yüzeyine ait CIELAB renk değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (+4°C) etkisi	88
Çizelge 4.22. Tavuk köfte örneklerinin dış yüzeyine ait CIELAB renk değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi	88
Çizelge 4.23. Tavuk köfte örneklerinin dış yüzeyine ait kroma farkı (ΔC^*), kroma (C^*), kroma indeksi (CI^*) ve hue açısı değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın (+4°C) etkisi	89
Çizelge 4.24. Tavuk köfte örneklerinin dış yüzeyine ait toplam renk farkı (ΔE^*), kroma farkı (ΔC^*), kroma (C^*), kroma indeksi (CI^*) ve hue açısı değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi	90
Çizelge 4.25. Tavuk köfte örneklerinin kesit yüzeyine ait CIELAB renk değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın (+4°C) etkisi	92

Çizelge 4.26. Tavuk köfte örneklerinin kesit yüzeyine ait CIELAB renk değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi	93
Çizelge 4.27. Tavuk köfte örneklerinin kesit yüzeyine ait toplam renk farkı (ΔE^*), kroma farkı (ΔC^*), kroma (C^*), kroma indeksi (CI^*) ve hue açısı değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın (+4°C) etkisi	94
Çizelge 4.28. Tavuk köfte örneklerinin kesit yüzeyine ait toplam renk farkı (ΔE^*), kroma farkı (ΔC^*), kroma (C^*), kroma indeksi (CI^*) ve hue açısı değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi	95
Çizelge 4.29. Sığır köfte örneklerinin dış yüzeyine ait CIELAB renk değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın (+4°C) etkisi	96
Çizelge 4.30. Sığır köfte örneklerinin dış yüzeyine ait CIELAB renk değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi	97
Çizelge 4.31. Sığır köfte örneklerinin dış yüzeyine ait kroma farkı (ΔC^*), kroma (C^*), kroma indeksi (CI^*) ve hue açısı değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın (+4°C) etkisi	98
Çizelge 4.32. Sığır köfte örneklerinin dış yüzeyine ait toplam renk farkı (ΔE^*), kroma farkı (ΔC^*), kroma (C^*), kroma indeksi (CI^*) ve hue açısı değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi	99
Çizelge 4.33. Sığır köfte örneklerinin kesit yüzeyine ait CIELAB renk değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın (+4°C) etkisi	101
Çizelge 4.34. Sığır köfte örneklerinin kesit yüzeyine ait CIELAB renk değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi	102
Çizelge 4.35. Sığır köfte örneklerinin kesit yüzeyine ait toplam renk farkı (ΔE^*), kroma farkı (ΔC^*), kroma (C^*), kroma indeksi (CI^*) ve hue açısı değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın (+4°C) etkisi	103

Çizelge 4.36. Sığır köfte örneklerinin kesit yüzeyine ait toplam renk farkı (ΔE^*), kroma farkı (ΔC^*), kroma (C^*), kroma indeksi (CI^*) ve hue açısı değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi	104
Çizelge 4.37. Bütün haldeki tavuk köfte örneklerine ait tekstür profili analizi sonuçları üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın ($+4^\circ\text{C}$) etkisi	106
Çizelge 4.38. Bütün haldeki tavuk köfte örneklerine ait tekstür profili analizi sonuçları üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi	106
Çizelge 4.39. Yüzeyi trimlenmiş (~ 2 mm) tavuk köfte örneklerine ait tekstür profili analizi sonuçları üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın ($+4^\circ\text{C}$) etkisi	107
Çizelge 4.40. Yüzeyi trimlenmiş (~ 2 mm) tavuk köfte örneklerine ait tekstür profili analizi sonuçları üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi	108
Çizelge 4.41. Bütün haldeki sığır köfte örneklerine ait tekstür profili analizi sonuçları üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın ($+4^\circ\text{C}$) etkisi	110
Çizelge 4.42. Bütün haldeki sığır köfte örneklerine ait tekstür profili analizi sonuçları üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi	111
Çizelge 4.43. Yüzeyi trimlenmiş (~ 2 mm) sığır köfte örneklerine ait tekstür profili analizi sonuçları üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın ($+4^\circ\text{C}$) etkisi	112
Çizelge 4.44. Yüzeyi trimlenmiş (~ 2 mm) sığır köfte örneklerine ait tekstür profili analizi sonuçları üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi	113
Çizelge 4.45. Tavuk köfte örneklerine ait toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) ve küf-maya sayıları üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın ($+4^\circ\text{C}$) etkisi	115
Çizelge 4.46. Tavuk köfte örneklerine ait toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) ve küf-maya sayıları üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi	117

Çizelge 4.47. Sığır köfte örneklerine ait toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) ve küf-maya sayıları üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın (+4°C) etkisi	118
Çizelge 4.48. Sığır köfte örneklerine ait toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) ve küf-maya sayıları üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi	119
Çizelge 4.49. Tavuk köftelerin efektif elektriksel iletkenlik değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi	121
Çizelge 4.50. Sığır köftelerin efektif elektriksel iletkenlik değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi	121
Çizelge 4.51. Tavuk köftelerin kesit yüzeylerine ait sıcaklık ve oransal ortalama sıcaklık homojenliği değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi	127
Çizelge 4.52. Sığır köftelerin kesit yüzeylerine ait sıcaklık ve oransal ortalama sıcaklık homojenliği değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi	128
Çizelge 4.53. Tavuk köftelerin duysal sertlik ve sululuk değerleri (n=8) üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi	129
Çizelge 4.54. Sığır köftelerin duysal sertlik ve sululuk değerleri (n=8) üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi	129
Çizelge 4.55. Tavuk köftelere ait enstrümental tekstür profili analizi (TPA) parametreleri ile duysal sertlik ve sululuk değerleri arasındaki korelasyon	130
Çizelge 4.56. Sığır köftelere ait enstrümental tekstür profili analizi (TPA) parametreleri ile duysal sertlik ve sululuk değerleri arasındaki korelasyon.....	131
Çizelge 4.57. Tavuk köftelerin geleneksel ve farklı ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemi ve sonrasında gerçekleştirilen vakum soğutma (VS) işlemine ait toplam enerji tüketimi ile spesifik enerji tüketimi (SET) değerleri.....	134
Çizelge 4.58. Sığır köftelerin geleneksel ve farklı ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemi ve sonrasında gerçekleştirilen vakum soğutma (VS) işlemine ait toplam enerji tüketimi ile spesifik enerji tüketimi (SET) değerleri.....	135
Çizelge 4.59. Tavuk köftelerin metal seviyeleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi	136

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Elektrotların yüzey alanı
a*	: CIELAB Renk Sistemi'nde kırmızılık/yeşillik değeri
b*	: CIELAB Renk Sistemi'nde sarılık/mavilik değeri
C*	: Kroma
CCD	: Central Composite Design (Merkezi Karma Tasarım)
CI	: Renk İndeksi
CIE	: Uluslararası Aydınlatma Komisyonu
CPC	: Conventional Pre-cooking
g	: Gram
GÖP	: Geleneksel Ön Pişirme
HCl	: Hidroklorik asit
HNO₃	: Nitrik asit
Hz	: Frekans (Hertz)
I	: Akım (A)
J	: Joule
kg	: Kilogram
kcal	: Kilokalori
KOB	: Koloni oluşturan birim
kPa	: Kilopascal
kWh	: Kilowatt saat
L	: Uzunluk (m)
L*	: CIELAB Renk Sistemi'nde parlaklık değeri
LOD	: Limit of Detection (Gözlenebilme Sınırı)
MA	: Malonaldehit
mg	: Miligram
OİÖP	: Ohmik Isıtmalı Ön Pişirme
OHPC	: Ohmic Heating Pre-cooking
N	: Newton
NaCl	: Sodyum klorür
PCA	: Plate Count Agar
PDA	: Potato Dextrose Agar
R	: Pearson korelasyon katsayısı

R²	: Determinasyon katsayısı
RSM	: Yüzey Yanıt Metodolojisi (Response Surface Methodology)
s	: Saniye
SET	: Spesifik Enerji Tüketimi
S	: Siemens
STK	: Su Tutma Kapasitesi
T	: Sıcaklık
t	: Süre
TBA	: Tiyobarbiturik Asit
TBARS	: Tiyobarbitürik Asit Reaktif Maddeler
TCA	: Trikloroasetik Asit
TMAB	: Toplam Mezofilik Aerobik Bakteri
TPA	: Tekstür Profil Analizi
USDA	: United States Department of Agriculture
V	: Volt
VS	: Vakum Soğutma
W	: Güç tüketimi (Watt)
°C	: Santigrat derece
ΔC*	: Toplam kroma farkı
ΔE*	: Toplam renk farkı
σ	: Elektriksel iletkenlik

ÖZET

Doktora Tezi

Vakum Altında Ohmik Isıtma İşlemiyle Köftelerin Ön Pişirilmesi ve Soğutulması

Hande Özge GÜLER DAL

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yusuf YILMAZ

Kasım, 2023

Bu doktora tez çalışmasında vakum altında ohmik ısıtmalı ön pişirme (OIÖP) işleminin vakum soğutma tekniği ile entegre edildiği ünitenin kurulumu gerçekleştirilmiş, ünite tavuk ve sığır etinden üretilen ve en yüksek elektriksel iletkenlik değerini verecek şekilde optimum yağ ve tuz içeriğinde hazırlanan köftelerde bazı kalite ve işlem parametreleri açısından test edilmiş ve kıyaslanmıştır. Maksimum iletkenlik değeri tavuk ve sığır eti köfte hamurlarının her ikisi için de %12,20 yağ içeriği ve %1,85 tuz içeriği değerleri için sırasıyla 0,253 ve 0,706 S/m olarak bulunmuştur. Geleneksel yöntemle ön pişirme (GÖP) konveksiyonel fırın içerisinde, OIÖP ise atmosfer basıncında ve vakum altında (600 mbar) 3 farklı voltaj gradyanında (10, 15 ve 20 V/cm) gerçekleştirilmiş, ardından köfteler vakum soğutma işlemine maruz bırakılmıştır. Ön pişirme süreleri bakımından GÖP (tavuk ve sığır eti köfteleri için sırasıyla 17,7 ve 11,8 dakika) ve OIÖP (en yüksek değerler sırasıyla 4,8 ve 3,1 dakika) arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Farklı koşullarda uygulanan OIÖP’te pişirme kaybı tavuk ve sığır eti köfteleri için sırasıyla %0,83-5,65 ve %8,40-15,67 aralığında, GÖP’e göre (sırasıyla %11,05 ve %22,13) oldukça düşük bulunmuştur ($p<0,05$). Tavuk eti köftelerinde soğukta depolamada 21. gün hariç vakum altında gerçekleştirilen OIÖP’te atmosfer koşullarındaki işlemlere kıyasla TBARS değerleri azalmıştır ($p<0,05$). Tavuk eti köftelerinin soğukta (+4°C) depolanması sırasında toplam renk farkı (ΔE^*) değerinin GÖP için önemli seviyede yüksek olduğu ve vakum altında uygulanan OIÖP işleminde (51,75-126,58 N), atmosfer koşullarına kıyasla (77,23-158,75N) enstrümental sertlik değerlerinin azaldığı saptanmıştır ($p<0,05$). Dondurarak (-18°C) depolamada sığır eti köftelerinde vakum altında gerçekleştirilen OIÖP’te atmosfer koşullarına kıyasla TMAB sayısında önemli bir azalma saptanmıştır ($p<0,05$). Toplam enerji tüketimi değerlerine göre GÖP’e kıyasla OIÖP için %90’dan yüksek enerji tasarrufu sağlanmıştır ($p<0,05$). Vakum altında OIÖP işlemi ile ön pişirilen sığır eti köftelerinin sululuk değerleri (7,41-7,89) atmosfer basıncındakine (6,65-7,09) kıyasla yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Sonuçlar, köftelerin ön pişirilmesinde vakum altında OHÖP ve vakum soğutma işlemlerinin entegre uygulanmasının önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: kalite, ohmik ısıtma, sertlik, toplam enerji tüketimi, vakum soğutma

Hazırlanan bu Doktora Tezi Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 0808-DR-22 proje numarası ile desteklenmiştir.

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

Pre-cooking of Meatballs by Ohmic Heating Under Vacuum and Vacuum Cooling

Hande Özge GÜLER DAL

**Burdur Mehmet Akif Ersoy University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Division of Food Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Yusuf YILMAZ

November, 2023

In this thesis, an ohmic heating pre-cooking (OHPC) process under vacuum integrated with a subsequent vacuum cooling was designed for meatballs, fat and salt contents of meatballs were optimized for the highest electrical conductivities during ohmic heating. Finally, the effect of the integrated process on some quality and process parameters of meatballs produced from chicken and beef with optimum fat and salt contents was determined. Optimum fat and salt contents for the maximum conductivities of both chicken (0.253 S/m) and beef meatballs (0.706 S/m) were 12.20 and 1.85%, respectively. Conventional pre-cooking (CPC) method was carried out in a convection oven, whereas OHPC was under atmospheric pressure and vacuum (600 mbar) at three different voltage gradients (10, 15 and 20 V/cm). Subsequently, meatballs were subjected to vacuum cooling process. In terms of pre-cooking times, a statistically significant difference was observed between CPC (17.7 and 11.8 min for chicken and beef meatballs, respectively) and OHPC (the highest values were 4.8 and 3.1 min, respectively) ($p < 0.05$). In OHPC under different conditions, cooking loss values ranged from 0.83-5.65% for chicken and 8.40-15.67% for beef meatballs, which were significantly lower compared to CPC (11.05 and 22.13%, respectively) ($p < 0.05$). In cold storage of chicken meatballs, except on the 21st day, TBARS values decreased in OHPC under vacuum compared to that under atmospheric pressure ($p < 0.05$). The total color difference (ΔE^*) values of chicken meatballs were significantly higher in CPC at different cold storage days (+4°C). In chicken meatballs, instrumental hardness values of OHPC under vacuum (51.75-126.58 N) were decreased compared to atmospheric conditions (77.23-158.75 N) ($p < 0.05$). During frozen (-18°C) storage of beef meatballs, a significant decrease in total mesophilic aerobic bacteria counts were observed in OHPC under vacuum ($p < 0.05$). Compared to CPC, OHPC resulted in energy savings of over 90% according to total energy consumptions ($p < 0.05$). Sensory juiciness values (7.41-7.89) of meatballs pre-cooked by OHPC under vacuum were higher than those by atmospheric pressure (6.65-7.09). Results indicated that the integration of the OHPC process under vacuum followed by vacuum cooling might have a significant potential for the pre-cooking of meatballs.

Keywords: quality, ohmic heating, hardness, total energy consumption, vacuum cooling

The present Ph.D. Thesis was supported by Burdur Mehmet Akif Ersoy University Scientific Research Projects Commission under the Project number of 0808-DR-22.

1. GİRİŞ

Et, hayvansal gıdalar içerisinde besin değerin yüksek değeri aminoasitlerden oluşması ve hayvansal protein gereksinimini karşılaması, özel tat ve kokuya sahip oluşu ve diğer bazı beslenme açısından faydalı temel bileşenleri içermesi ile insan beslenmesinde önemli gıdalardan biridir (Öztan, 2003). Ülkemizde kentselleşme nedeniyle, yüksek kaliteli hazır ve pişirilmeye uygun et ürünlerinin ticari üretim talebi artmaktadır. Bu ürünler arasında önceden marine edilmiş taze et ve tavuk ürünleri, hamburger köfteleri, ön ısıtma işlem uygulanmış ve evlerde ısıtılıp tüketilmeye hazır köfte çeşitleri bulunmaktadır. Ülkemizde en popüler et ürünlerinden biri olan köfte büyük miktarlarda tüketilmekte olup günümüzde hazır ve pişirmeye uygun çok farklı şekilde paketlenmiş köfte çeşitleri marketlerde yer almaktadır (Karpińska-Tymoszczyk, 2008; Mutlu Ozturk vd., 2017). Günümüzde, ön pişirilmiş et ürünlerinin artan tüketimi de dahil olmak üzere hazır gıdalara olan bu eğilimler, kalitenin korunmasına yönelik yöntemlerin iyileştirilmesi ile ilgili çalışmaları beraberinde getirmiştir (Karpińska-Tymoszczyk, 2008).

Etin muhafaza süresinin artırılması çeşitli temel ısıtma veya ısıtılmayan teknikler veya kombinasyonları ile bozulmaya neden olan mikroorganizmaların inaktivasyonu, gelişiminin azaltılması veya engellenmesi, et enzimlerinin inaktif hale getirilmesi ve etin çeşitli yollarla dış etmenlerden korunması işlemlerini içermektedir (Öztan, 2003). Bu işlemler arasında sık kullanılanlardan bazıları pişirme, soğutma ve dondurma gibi ısıtma işlem uygulamalarıdır (Barbera ve Tassone, 2006). Literatür çalışmaları incelendiğinde, pişirme işlemi sonucu merkez sıcaklığı 75°C'ye ulaşmış köfte örneklerinin genellikle yarı pişirilmiş (semi-cooked) (Icier vd., 2014) veya ön pişirilmiş (pre-cooked) (Thongtan vd., 2005, Yucel Sengun vd., 2014) şeklinde isimlendirildiği saptanmıştır. Ön pişirilmiş sığır eti genellikle hazır yemek (fast food) satış noktalarında, sandviç barlarda ve evsel tüketime hazır pişmiş ve paketlenmiş gıdaların içerisinde bulunmaktadır (Jackman vd., 2007).

Et ve et ürünleri, homojen olmayan bileşimi, merkez sıcaklıklarının ölçümü ve takibindeki zorluklar gibi nedenlerle hedeflenenden daha az veya fazla pişirilebilmekte, bu durum tekstürel özellikler ile kalitenin bozulmasına ve potansiyel gıda güvenliği sorunlarına neden olabilmektedir (Pathare ve Roskilly, 2016). Geleneksel pişirme yöntemleri, ürün boyunca gerçekleşen ısı transferinin yavaş olması nedeniyle oldukça zaman alıcı olup bazı faydalı bileşenlerin kaybına neden olabilmektedir. Bu yöntemlerde

Üretim verimliliğinin düşüklüğü, uzun ısıtma ve işleme süresi ile büyük hacimlerde su ve enerji kullanımına gerek olması sonucunda uzun süre ve yüksek enerji tüketimi dezavantaj olarak sayılabilmektedir. Yeni teknolojilerin temel amacı işlem süresini azaltmak, raf ömrünü ve gıda ürünlerinin kalitesini artırmak, enerji tasarrufu sağlamaktır (Chemat vd., 2011). Yeni ısıl işlem teknikleri geliştirilirken, numunelerin uygun bir son nokta sıcaklığına veya hedef pastörizasyon değerine ısıtılarak pişirme işlemi etkinliğinin saptanması gerekmektedir. Gıdaya uygulanması gereken sıcaklık değerlerinin istenmeyen kalite değişimlerine ve kayıplarına yol ağabilmesi nedeniyle geleneksel ısıl işlem uygulamaları sırasında ısıl olmayan ileri muhafaza tekniklerinin geleneksel yöntemlerle beraber veya bu yöntemlere alternatif kullanımı konusunda pek çok araştırma yapılmaktadır (Akkara ve Kayaardı, 2004; Zell vd., 2010a). Bu alımalar neticesinde geleneksel pişirme yönteminin dezavantajlarını ortadan kaldırmak amacıyla ohmik ısıtma yöntemiyle pişirme (ohmik pişirme) gibi alternatif pişirme yöntemleri geliştirilmiştir (Sastry and Barach, 2000; İçier, 2003; Bozkurt ve İcier, 2010). Yapılan çalışmalarda, ohmik pişirme ile işlem süresinin saatlerden dakikalara indirilebildiği, homojen pişirme sıcaklığının sağlandığı, üründe tortu oluşumu ve yanmış kısımların oluşumunun önlenebildiği saptanmıştır (Bozkurt ve İcier, 2010; Bhattacharya, 2014; Yildiz-Turp vd., 2013). Son yıllarda üzerinde çalışmaların arttığı minimal ısı uygulamaları içerisinde önemli yeri olan ohmik ısıtma, ısıl işlem süresini önemli lęde kısaltma potansiyeline sahip hızlı bir ısıtma tekniğidir. İşlemin ana prensibi gıda ürünü ile temas eden elektrotlardan alternatif akımın geçilmesi ve elektrik enerjisinin ani ve homojen olarak ısı enerjisine dönüşmesi suretiyle direnç olarak davranan gıdada ısınmanın geręeklemesidir (Skudder, 1989; Roberts vd., 1996; Sastry ve Barach, 2000; İçier, 2003; Zheng ve Sun, 2005; Bozkurt, 2009; Eroğlu vd., 2011).

Etin raf ömrünün uzatılmasının en yaygın yöntemi etkin bir soğutma tekniği uygulamasıdır ve et kesimden sonra arzu edilmeyen bozulmaların önüne geçilmesi amacıyla genellikle zaman kaybetmeden soğutulmaktadır. Başta soğutma olmak üzere diğer muhafaza tekniklerinin eksikliği büyük ürün kayıpları ve toplum sağlığı sorunları oluşturabilmektedir (Bender, 1992). Soğutma; yüksek kaliteli ve besleyici gıdaların tazeliğinin korunmasını sağlayan başlıca muhafaza yöntemlerindendir (Drummond vd., 2015). Soğutma işleminde temel hedef gıda maddelerini istenilen (düşük) sıcaklık derecesine mümkün olduğunca çabuk ulaştırmak suretiyle mikroorganizmaların çoğalma hızlarını ve metabolik ileyilerini yavaşlatmak veya durdurmaktır. Böylelikle gıdanın besin değeri ve kalitesi korunarak raf ömrü uzatılabilmektedir. Düşük sıcaklık

değerlerinde gıdada gerçekleşen bozulmayla ilgili kimyasal reaksiyonların hızı azalmakta, gıdanın doğal yapısında bulunan enzimler ile mikrobiyal bazı enzimlerin aktivitesi azalmaktadır (Anar, 2012). Gıda güvenliği açısından 72 ila 10°C sıcaklık aralığı oldukça tehlikelidir. Pişirildikten sonra canlı kalabilen mikroorganizmalar bu sıcaklıkta kolayca gelişebilmektedir. Bu nedenle, söz konusu sıcaklık aralığından geçişin hızlı bir şekilde gerçekleşmesi ve ürünün hızla soğutulması gıda endüstrisi için önem taşımaktadır (Dong vd., 2012). Gıda endüstrisinde, pişirilmiş gıdaların soğutulmasında kullanılan (durgun havada soğutma, hava üfleli soğutma ve daldırarak soğutma gibi) geleneksel yöntemlerin, kullanılan yöntemle bağlı olarak kontrolsüz ve uzun sürmesi veya homojen olmayan bir soğutma sunması gibi etmenler gıdanın besin kalitesini ve mikrobiyal kalitesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Desmond vd., 2000; McDonald vd., 2000). Et ve et ürünlerinin zayıf ısı iletkenliği nedeniyle uygun pişirme işleminin ardından tüketime kadar hızlı ve homojen bir şekilde soğutulmasını sağlayan teknikler de gıda endüstrisi için oldukça önemlidir (Cheng ve Sun, 2006). Tüm bu nedenlerle kısa sürede, hızlı ve homojen bir soğutma ile gıdanın besin değeri ve kalite özelliklerinde minimum kayıp oluştururken mikrobiyolojik açıdan da güvenilir şekilde soğutulmasını sağlayacak alternatif pratik yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır (McDonald ve Sun, 2000; Zheng ve Sun, 2005). Alternatif bir soğutma tekniği olan vakum soğutma ile bu amaçlar büyük ölçüde gerçekleştirilebilmekte ve bu teknik, gıda endüstrisi alanındaki bilimsel araştırmalarda büyük ilgi görmektedir (McDonald ve Sun, 2000; Zheng ve Sun, 2005). Vakum soğutma, yüksek soğuma hızları ve kısa işlem süreleri sayesinde yüksek enerji tasarrufu ve homojen sıcaklık dağılımının sağlandığı bir işlem olup yüksek kaliteye sahip et ve et ürünlerinin eldesinde yaygın olarak uygulanmaktadır (McDonald ve Sun, 2000; Feng vd., 2012; Mutlu Ozturk vd., 2017). Teknik, vakum odasında ortam basıncının düşürülmesi ile içerisindeki suyun buharlaştırılması sonucu numuneden ısı çekilerek soğutulmasını içermekte ve soğutmanın gıda maddesi içerisindeki suyun buharlaşması vasıtasıyla sağlanması sayesinde geleneksel soğutma yöntemlerine kıyasla hızlı bir soğutma yöntemi olarak öne çıkmaktadır (Suslow, 2000; Dinçer, 2003; Drummond vd., 2015).

Ülkemizde farklı köfte çeşitleri ve ısı iletkenliği görmüş tüketime hazır et ürünlerine olan ihtiyaç ve talep gün geçtikçe artmaktadır. Her ne kadar ohmik pişirme uygulamasını iyileştirmeye yönelik çalışmalar mevcut olsa da vakum altında ohmik pişirmenin kullanıldığı, sistemin vakum soğutma teknolojisi ile entegre edildiği, entegre sistemin tavuk ve sığır eti köfteleri üzerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmaya literatürde

rastlanmamıştır. Bu tez çalışmasında ön pişirme işlemini homojen ve hızlı şekilde sağlayabilecek ohmik pişirme işlemine hem vakum sistemi hem de vakum soğutma işlemi entegre edilmiş; entegre sistemin tavuk ve sığır eti köftelerinin pişirilip ardından soğutulması amacıyla uygulanabilirliği incelenmiştir. Bu bağlamda, vakum altında ohmik ön pişirme/vakum soğutma kombinasyonlu ısıtma-soğutma ünitesinin tasarımı gerçekleştirilmiş ve (i) geleneksel yöntemle ön pişirme ve ardından vakum soğutma; (ii) üç farklı voltaj gradyanında (10, 15 ve 20 V/cm) ohmik ısıtmalı ön pişirme ve ardından vakum soğutma; (iii) üç farklı voltaj gradyanında (10, 15 ve 20 V/cm) vakum altında ohmik ısıtmalı ön pişirme, ardından vakum soğutma olmak üzere entegre işlemler uygulanmış ve bu işlemlerin tavuk ve sığır köftelerin bazı özellikleri üzerine etkileri karşılaştırılmıştır. Her uygulamada da tavuk ve sığır etinden üretilen köfte örnekleri ön pişirme işlemi sonrasında doğrudan vakum soğutma işlemine tabi tutulmuş, soğuma süresi, verimliliği, pişirme ve soğuma kaybı, zaman-sıcaklık geçmişi verileri, sıcaklık dağılımı ve sıcaklık homojenliği, toplam enerji tüketimi gibi özellikleri değerlendirilmiştir. Duyusal ve tekstürel özelliklerin yanı sıra işlemlerin, köftelerin pH, toplam kuru madde, kül, renk ve su tutma kapasitesi gibi bazı fiziksel, kimyasal ve fizikokimyasal özellikleri ile toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı ve küf-maya sayısı üzerine etkisi değerlendirilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Tavuk ve Sığır Etinin Temel Özellikleri

Et, gıda olarak kullanılan hayvanın adıyla tanımlanmaktadır ve tavuk ile sığır etlerinin Çizelge 2.1’de de belirtilen bileşim özellikleri ve besin değeri açısından zengin oluşu nedeniyle sağlıklı ve dengeli bir diyetin temel bileşeni olma özelliği göstermektedir (Rogowski, 1980; Pathare ve Roskilly, 2016). Pek çok toplulukta et ve et ürünleri geleneksel kullanım ve ulaşılabilirliği, tercih edilebilirliği, beslenme durumu ve besinsel içeriği dahil olmak üzere çeşitli avantajları ile diyetinde özel bir yer tutmaktadır. Et ürünlerine olan talep artışı beslenme, gıda güvenliği ve kalitesi açısından artan ilgi ve gelir durumu ile paralel olarak artmaktadır. Etin diyetindeki önemi, biyolojik değerinin yüksek olmasının yanı sıra aminoasit bileşiminin tahıl ve diğer bitkisel proteinleri tamamlayan bir protein kaynağı oluşuyla da alakalıdır. Et, yüksek kaliteli doğal proteinin yanı sıra diğer B kompleks vitaminleri, çinko, selenyum, demir ve fosfor gibi değerli besin öğeleri açısından zengin bir kaynaktır (Rogowski, 1980; Pereira ve Vicente, 2013).

Çizelge 2.1. Tavuk ve sığır etinin temel bileşim özellikleri (100 g için) (USDA, 2016)

Bileşen	Tavuk eti	Sığır eti
Su (g)	65,26	64,83
Protein (g)	31,02	27,23
Toplam lipit (g)	3,57	7,63
Kolesterol (mg)	85	78
Enerji (kcal)	165	185

Zengin bileşimi eti bozulmaya yol açan mikroorganizmaların ve yaygın gıda kaynaklı patojenlerin gelişmesi ve çoğalması için ideal bir ortam ve çabuk bozulabilen bir gıda grubu haline getirmektedir. Bu nedenle etin güvenliğini korumak ve kalite kayıplarını azaltmak için uygun muhafaza teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanmasına ihtiyaç duyulmaktadır (Öztan, 2003; Aymerich vd., 2008; Zhou vd., 2010). Et muhafazasında kullanılan prosedürler temel olarak mikrobiyal bozulmayı engellemekle ilgilidir, ancak renk ve oksidatif değişiklikler gibi diğer bozulma kaynaklarını en aza indirmek için farklı muhafaza yöntemleri de uygulanmaktadır (Zhou vd., 2010). Muhafaza sıcaklığı, ortamda oksijen varlığı, etin içerisinde yer alan enzim ve mikroorganizmalar, ortam nemi ve ürünün su içeriği gibi birbiriyle ilişkili birçok faktör etin raf ömrünü ve tazeliğini etkilemektedir. Mikroorganizmaların yokluğunda ette oksidatif bozulmalar, proteoliz ve lipoliz reaksiyonları sonucu bazı değişimler meydana

gelebilmesine rağmen mikrobiyal kalite taze etin muhafazası ile ilgili en önemli faktördür (Lambert vd., 1991; Öztan, 2003; Zhou vd., 2010).

Etin muhafazasında kullanılan kurutma, soğutma, pişirme, pastörizasyon, dondurma, tuzlama, dumanlama gibi geleneksel yöntemler veya iyonize radyasyon, bakterisidal kullanımı, ambalajlama gibi doğrudan inhibitör uygulamalar mikrobiyal gelişimin önlenmesi veya kontrolünde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu teknikler birleşik halde de kullanılabilmekte ve bu sayede işlemlerin bireysel etkileri artırılabilir. Uygulanacak muhafaza yöntemi tüketime hazır ürünün taşınması istenen özellikleri göz önünde bulundurularak seçilmektedir (Lawrie ve Ledward, 2006; Zhou vd., 2010).

2.2. Et ve Et Ürünlerine Uygulanan Isıl İşlemler

Isıtma, gıdanın işleme sürecinde önemli bir adımdır. Isıtma uygulaması, çiğ gıda materyalinin korunması, pişirilerek yeme kalitesinin artırılması ile mikrobiyal ve enzim inaktivasyonunun sağlanmasında gıda endüstrisinde en yaygın kullanılan yöntemlerden olmuştur. Geleneksel ısıtma yöntemleri, sürekli ve kesikli işlemleri, temel olarak konveksiyon (iletim), konveksiyon (yayılm) ve radyasyon (ısıtma) yoluyla ısı transferini kapsamaktadır. Ancak, iç direnç, genellikle konveksiyon yoluyla dış dirence kıyasla sınırlayıcı faktördür. Gıda büyük boyutlu parçacıklar içeriyorsa veya ısı transfer özellikleri zayıfsa bu durum heterojen ısıtma işlemi ve üründe kalite kaybına neden olmaktadır (Sun, 2014).

Günümüzde ısıtma işlemi görmüş tüketime hazır (köfte çeşitleri gibi) et ürünlerine olan ihtiyaç ve talep gün geçtikçe artmaktadır. Fakat patojen ve bozulmaya neden olan birçok mikroorganizmanın çoğalması için oldukça uygun bir biyolojik ortam niteliğinde oluşu sebebiyle bu tür et ürünleri kesim, nakliye, depolama gibi işlemler sırasında çeşitli mikroorganizmalar ile kolayca kontamine olabilmekte, hızlıca bozulabilmekte ve raf ömürleri kısılabilmektedir. Bu nedenle et ve et ürünleri için uygun, güvenli, kolay ve enerji verimliliği yüksek işleme ve muhafaza tekniklerinin geliştirilmesi önem arz etmektedir (Zhou vd., 2010; Sun, 2014). Et ve et ürünlerine uygulanan ısıtma işlemlerinde başta patojenlerin inaktivasyonunun sağlanması olmak üzere lezzetin geliştirilmesi ve raf ömrünün uzatılması hedeflenmektedir (Tornberg, 2005; Pathare ve Roskilly, 2016). Pek çok et ve et bazlı ürün tüketilmeden önce pişirilmekte olup bu işlem gıda kaynaklı patojenlerin inaktive edilmesi ve bu sayede mikrobiyal güvenliğin sağlanmasının yanı sıra etin tüketim kalitesinin elde edilmesinde önem arz eder (Tornberg, 2005; García-Segovia vd., 2007; Ergezer ve Serdaroğlu, 2008; Pathare ve Roskilly, 2016; Lyng vd.,

2019). Gıda kaynaklı hastalık potansiyelinin yüksek oluşu nedeniyle, Birleşik Devletler Tarım Bakanlığı (USDA) ızgara, rosto ve balıkların 62,8°C, kıymanın (ground beef) 71,1°C iç merkez sıcaklığına kadar pişirilmesini önermiştir (Anonim, 2020). Etin tüketimi esnasında algılanan kalite özellikleri tüketici tarafından kabulünü etkilenmektedir. Uygulanan pişirme yöntemi, etin kalite özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ve pişirme yönteminin seçiminde enerji tüketimini göz önünde bulundurmak oldukça önemlidir. Etin pişirilmesindeki enerji gereksinimi genellikle tüketici tercihi doğrultusunda seçilen pişirme yöntemine ve kullanılan cihazlara bağlı olarak değişmektedir (Pathare ve Roskilly, 2016).

Geleneksel pişirmenin birçok dezavantajı bulunmaktadır. Bunlar merkeze düşük ısı penetrasyonu sonucu uzun pişirme süreleri, üründe iç ve dış kısımlar arasındaki sıcaklık düzeyi ve kalite farklılıkları, ısı kaybının çoğu zaman yüksek oluşu olarak sayılabilmekte; bu dezavantajların üstesinden gelmek için alternatif teknolojiler kullanılmaktadır (Zhou vd., 2010). Et ve et ürünlerinin özelliklerini ve işlem verimliliklerini değiştirmek için alternatif teknolojilerin potansiyel faydalarının birleştirilerek gıda numunelerinin fiziksel veya kimyasal kalitesinin artırılmasına yönelik daha fazla araştırma çalışmasından yararlanılması beklenilmektedir. Ayrıca küresel olarak tüketimi hızla artan pişmiş et ürünlerinin üretiminde, yeni teknolojilerin ticari olarak kullanılabilirliğini geliştirmek de gıda endüstrisinde temel hedeflerdendir (Lyng vd., 2019).

Gıdalara uygulanan kısmen yeni tekniklerden olan mikrodalga ısıtma, indüktif veya ohmik ısıtma gibi yöntemler ısı işlem olarak kullanıldığında gıdanın kalite özellikleri önemli ölçüde geliştirilebilmektedir. Bu hacimsel ısıtma yöntemleri, gıdaların içerisinde ısının üretimini sağlamakta, iletim ve yayılımı daha az bağımlı olduğundan daha az sıcaklık gradyanı oluşturmaktadır (Sun, 2014). Et endüstrisinde genel olarak mikrobiyal çoğalmayı kontrol etmek için dezenfektan ve koruyucular gibi kimyasal maddeler ile ısı işlemleri kullanılmış ve halen de kullanılmaktadır (Acuff, 2014). Ancak günümüzde tüketiciler kimyasal içermeyen, üstün besinsel özelliklerin korunması için ılımlı işleme tekniklerine maruz bırakılmış gıdaları talep etmektedir. Bu ılımlı muhafaza tekniklerinin enerji tasarrufunu hedeflemesi ve çevre dostu olması beklenmektedir. Et ve et ürünlerinde kalite ve güvenlik düzeylerinin artırılması, görünüm özelliklerinde iyileşme ve raf ömrünün uzatılmasına yönelik artan taleple birlikte, yüksek hidrostatik basınç, yüksek yoğunluklu darbeli ışık, x-ışınları, ultraviyole ışık, ohmik ısıtma, doğal biyo-koruyucular, ışınlama, yenilebilir filmler ve aktif paketleme gibi alternatif muhafaza teknolojileri araştırılmakta ve halihazırda uygulanmaktadır (Hugas vd., 2002; Zhou vd., 2010; Ojha

vd., 2017; Sayiner ve Beyhan, 2023). Bunlara ek olarak, modifiye atmosfer paketlenme ve aktif paketlenme gibi yeni paketlenme sistemleri ile doğal antimikrobiyal bileşiklerin kullanımı da uygulama alanına sahiptir (Zhou vd., 2010). Gelişmekte olan yeni teknolojiler, et ürünlerinin mikrobiyal güvenliğini iyileştirirken proses verimliliğinin artırılması, raf ömrünün uzatılması gibi et endüstrisinin karşılaştığı çeşitli zorlukların üstesinden gelme ve yeni ürünlerin geliştirilmesinde kullanım gibi potansiyel özellikler göstermektedir (Acuff, 2014; Ojha vd., 2017). Etin pişirme sıcaklığı ve süresi fiziksel özellikleri ve kalitesini etkilemektedir. Pişirme sırasında karakteristik et proteinleri denatüre olmakta ve etin tekstürel özelliklerinde değişiklikler yaratmaktadır. Bu işlemler genel olarak hücre zarlarının tahrip olması, et liflerinin kısalması, miyofibriller ve sarkoplazmik proteinlerin birleşmesi ve jel oluşturması, bağ doku üzerinde büzülme ve çözünme gibi sonuçlar yaratmaktadır (Tornberg, 2005; Roldán vd., 2013).

Etin yeme kalitesi, temel olarak uygulanan pişirme yöntemi ve şiddetinden önemli ölçüde etkilenmektedir. Uygun pişirme tekniklerinin seçimi, etin türü, bağ doku miktarı, etin boyutu ve şekline bağlı olarak değişebilmektedir (Pathare ve Roskilly, 2016). Yaygın olarak kullanılan farklı et pişirme yöntemleri arasında fırında pişirme, kızartma, sous-vide (düşük sıcaklıkta uzun süre) pişirme, yüksek basınç altında pişirme ve ohmik ısıtma ile pişirme gibi yöntemler sayılabilir. Ürünlerin kalite özellikleri ve mikrobiyal güvenliği, ürünün pişirme yönteminden etkilenmektedir (Zheng ve Sun, 2005; Pathare ve Roskilly, 2016).

Pişirme, gıdaların tüketim için hazırlanmasında ısı ve/veya diğer enerji biçimlerinin uygulanması olarak tanımlanmaktadır. Bu işlem, gıda materyalini daha lezzetli ve besleyici hale getirmek, duyu özellikleri, gıda güvenliğini ve tüketim kalitesini artırmak amacıyla kullanılmaktadır (García-Segovia vd., 2007; Ergezer ve Serdaroğlu, 2008; Pathare ve Roskilly, 2016). Etin pişirilmesi, lezzetli ve güvenli bir ürün elde edilmesinin yanı sıra tüketici tercihleriyle ilişkili olan lezzet ve yumuşaklık gibi temel kalite özelliklerini ve besin değerini de etkileyebilmektedir (Tornberg, 2005; Pathare ve Roskilly, 2016).

Ette kas ağırlığının yaklaşık %20'sini oluşturan et proteinleri ısıtıldıklarında önemli bazı yapısal değişikliklere uğramakta ve et ürününün kalitesi de pişirildikten sonra büyük ölçüde değişmektedir (Tornberg, 2005; García-Segovia vd., 2007). Pişirme sıcaklığı ve süresi etin fiziksel özellikleri ve yeme kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Etin sertliğini belirleyen bileşenler miyofibriller proteinler, bağ doku proteinleri, kolajen ve elastindir (Tornberg, 2005; García-Segovia vd., 2007). Etin temel bileşenleri olan

proteinler, ısıtma işlemleri sırasında oksidasyon, parçalanma, denatürasyon ve agregasyon gibi yapısal değişikliklere uğramakta ve bu da etin fonksiyonel özelliklerini etkilemektedir (Di Luccia vd., 2015; Tian vd., 2016). Isıtma sırasında proteinlerde meydana gelen konformasyonel değişiklikler (genellikle denatürasyon olarak adlandırılmaktadır.) sonucu ette yapısal değişiklikler ortaya çıkmaktadır (Bendall ve Restall, 1983; Tornberg, 2005; García-Segovia vd., 2007).

2.2.1. Ete Uygulanan Isıtma İşleminin Pişirme Kaybına Etkisi

Pişirme kaybı esas olarak ısıtma sırasında etteki aktin ve miyozinden oluşan protein (aktomiyozin) kompleksi ve kolajende meydana gelen değişikliklerden kaynaklanmaktadır (García-Segovia vd., 2007). Pişirme kaybı denildiğinde etin pişirilmesi sırasında kaybedilen sıvı ve çözünmüş madde kombinasyonu anlaşılmakta olup işlemin teknolojik verimin belirlenmesi açısından et endüstrisinde kritik bir faktördür (Yarmand vd., 2013). Beslenme açısından pişirme işlemi çözünür proteinlerin, vitaminlerin ve diğer besin öğelerinin kaybına neden olmaktadır. Et ürünlerinde pişirme kaybı 50-70°C sıcaklıklar arasında en yüksek hızda gerçekleşmekte ve daha sonra hızı azalmaktadır (Pathare ve Roskilly, 2016). Pişirme sırasında proteinlerin termal büzülmesi nedeniyle dokularda hapsolmuş su dışarı atılmaktadır (Palka ve Daun, 1999). Bu durum, pişirme sırasında yağ kaybı ile birleştiğinde pişirme kaybını oluşturmakta, bu değer de etin tekstür, lezzet ve rengini etkilemektedir (Pematilleke vd., 2021).

Taze etin et ürünlerine işlenmesinin kolaylaşabilmesi ve yüksek verimin sağlanabilmesi açısından etin içerdiği suyun teknolojik işlemler esnasında yapıda tutulması istenmektedir. Bu sebeple, et endüstrisinde yüksek su tutma kapasitesine sahip etlerin tercih edilmesi ekonomik açıdan ve son ürün kalitesi açısından önemlidir. Ancak kesim sonrasında ete uygulanan işlemler ve bazı biyokimyasal değişiklikler su içeriğinde azalmaya sebep olabilmektedir (Ergezer ve Serdaroglu, 2008). Pişirme sırasında bağ dokusu ve kas liflerinin 60-70°C'de uzunlamasına büzüldüğü ve büzülmenin boyutunun sıcaklıkla birlikte arttığı, bu büzülmenin pişirme sırasında ortaya çıkan su kaybına neden olduğu ve en yüksek su kaybının bu sıcaklıkta gerçekleştiği belirtilmektedir. Hücre dışı boşlukta bulunan sulu çözelti üzerine büzülen bağ dokusu tarafından uygulanan basınçla su dışarı atılmakta, kas proteinlerinin büzülmesi sıcaklıkla artmaktadır (Palka ve Daun, 1999; Tornberg, 2005; Roldán vd., 2013; Purslow vd., 2016). Benzer şekilde, Roldán vd. (2013) 60°C'ye kadar olan sıcaklıklarda kas liflerinin enine doğru çekildiğini ve lifler arasındaki boşluğu genişlettiğini, bu sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklarda ise liflerin

uzunlamasına çekildiğini ve önemli miktarda su kaybına neden olduğunu rapor etmiştir. Daha uzun ısıtma sürelerinin daha fazla protein denatürasyonuna ve daha fazla su ve yağ kaybına neden olabileceği ve böylece köftelerinin pişirme verimini düşürebileceği bildirilmektedir (Lawrie, 1998). Farklı et türlerinin farklı pişirme yöntemleriyle pişirme kaybı değerlerinin %14,26-39,93 aralığında geniş bir skalada değiştiği bildirilmiştir (Çiçek vd., 2014; Pematilleke vd., 2021).

2.2.2. Ete Uygulanan Isıtma İşleminin Tekstürel Özelliklere Etkisi

Etin tekstürel (dokusal) özellikleri en temel kalite özelliklerinden biri olarak kabul edilmektedir. Et tekstürü, kesimlik hayvana ve ete ait özelliklere (ırk, yaş, cinsiyet ve kas tipi gibi), yetiştiricilik uygulamalarına, kesim öncesi ve kesim sonrası işlemlere (soğutma koşulları ve elektriksel uyarım gibi) ve pişirme yöntemine bağlı olarak değişmektedir. Tekstürel özellikler; sertlik, elastikiyet, çiğnenebilirlik gibi çeşitli özellikleri içermektedir. Etin tekstürel özellikleri etin mekanik özellikleri yanı sıra ürünün boyutu, şekli ve kas liflerinin yönü gibi geometrik özellikler ile nem ve yağ içeriğine bağlıdır (Ruiz De Huidobro vd., 2005; Pematilleke vd., 2022).

Gıdanın ağız içinde ön dişlerden çiğneme dişlerine taşınmasının ilk aşamasını kapsayan, gıdanın hacim özellikleri ile ilgili olan sertlik, yapışkanlık, çiğnenebilirlik gibi duysal tekstür parametreleri, gıdanın ağız içindeki davranışının erken aşamalarında yoğun bir şekilde hissedilmektedir (Pematilleke vd., 2022). Bu parametreler mekanik tekstürel özellikler olarak da tanımlanmış olup genellikle hacimsel deformasyon değişikliklerini ölçmek için tasarlanmış tekstür profil analizi (TPA) kullanılarak enstrümantal olarak değerlendirilebilmektedir (Chen ve Stokes, 2012). Etin tekstürü, laboratuvar cihazları kullanılarak ölçülebileceği gibi panelistlerin yer aldığı duysal analizlerle de ölçülebilmektedir. Enstrümantal olarak değerlendirilebileceği halde, tekstürel özelliklerin duysal özellikler olarak tanımlanması sebebiyle enstrümantal ölçümlerin duysal değerlendirme ile doğrulanması gerektiği bildirilmektedir (Szczeniak, 2002; Pematilleke vd., 2022). Literatürde, TPA verilerinin çeşitli gıda ürünlerinin duysal ölçümleri ile iyi bir korelasyon sağladığı belirtilmektedir (Pematilleke vd., 2022).

Çiğ ve pişmiş ette tekstürel özelliklerin değerlendirilmesi için iki farklı enstrümantal ölçüm yönteminin duysal sertlik özelliğinin tahmininde kullanışlılığını araştıran bir çalışmada (Ruiz De Huidobro vd., 2005), pişmiş ette duysal sertliğin Warner-Braztler (WB) kesme sertliği ölçümüne kıyasla TPA yöntemi tarafından daha iyi

tahmin edildiği bildirilmiştir. Tekstürel özellikler arasında sertlik tüketici kabulü açısından önem taşımakla beraber genellikle verimlilik ve maliyetin yanı sıra pişirme yönteminin belirlenmesinde de önemli olduğundan sıklıkla araştırılmaktadır (Vasanthi, 2007). Pematilleke vd. (2021) dana etinde sertliğin artan pişirme süresi ve sıcaklık ile arttığını bildirmiştir. Sıcaklık ve pişirme süresi, etin yeme kalitesi üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Kollajenin çözünmesi eti yumuşatıcı bir etkiye sahipken, pişirme sırasında miyofibriler proteinleri etkileyen pek çok değişiklik sertleşmeye neden olmaktadır. Pişirme sırasında miyofibriler proteinlerin denatürasyonun derecesi, koagülasyonu ve kollajenin büzülmesi etin sertliğini artırmaktadır. Bu süreçte gerçekleşen su kaybı da sertlik artışına katkıda bulunmaktadır (Palka ve Daun, 1999; Brunton vd., 2006; Pematilleke vd., 2022). Palka ve Daun (1999) farklı iç sıcaklıklarda pişirilen sığır etinin tekstürel özelliklerini inceleyen çalışmalarında, 70 ve 80°C’de pişirilen örneklerde sertlik değerlerinin 60°C’ye kıyasla yüksek olduğunu bildirmiştir. Sertliğin yükselişi miyozin (55-60°C’de) ve aktinin (yaklaşık 80°C’de) denatürasyonu ve kollajenin büzülmesi (56-65°C’de) ile açıklanmıştır. Sarkoplazmik proteinler jel oluşturarak etin dişler arasında daha kolay parçalanmasını sağladığından 65°C’ye kadar ısıtmanın yumuşaklığı artırdığı, 65’ten 80°C’ye kadarki ısıtmada ise etin elastik modülünün arttığı ve daha sert hale geldiği bildirilmiştir (Tornberg, 2005; Roldán vd., 2013). Etin pişirilmesi sırasındaki sıcaklık koşullarının etin tekstür profili parametreleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu, bu parametrelerin 70-80°C aralığında optimum seviyelerine ulaştığı belirtilmektedir (Barbera ve Tassone, 2006).

2.2.3. Ete Uygulanan Isıtma İşleminin Renk Özelliklerine Etkisi

Et rengi, tazelik ve pişme derecesi göstergesi olarak et kalitesini ve tüketici tercihini etkileyen kritik parametrelerden biridir. Renk parametreleri etin temel bileşimi, pH ve su tutma kapasitesi gibi kalite özellikleriyle ilişkilidir (Pathare ve Roskilly, 2016). Miyogloblin proteini et renginden sorumlu birincil hem pigmentidir ve etin pişirilmesi sırasında oksijenasyon, oksidasyon ve indirgeme reaksiyonları yoluyla renk değişikliklerine katkıda bulunan deoksimiyoglobin, oksimiyoglobin, sülfmiyoglobin, metmiyoglobin gibi diğer türevleri de oluşmaktadır. Pişirme sırasında, üç miyoglobin formu bozulmakta, birbirine dönüşmekte ve et renginin görünümünü etkilemektedir (Liu ve Chen, 2001; García-Segovia vd., 2007). Pek çok tüketici pişmiş etin rengini bir güvenlik ve pişirme derecesi göstergesi olarak kabul etmektedir. Liu vd. (2013), pişirme sıcaklığı arttıkça etin ışığı yansıtma özelliğinin arttığını ve bunun da denatüre olmuş

proteinler tarafından ışığın saçılmasıyla ortaya çıktığını bildirmiştir. Pişirme sıcaklığı etin rengini etkilediğinden tüketicinin tercih edeceği renk özelliklerine sahip et ürünlerinin eldesi için çalışma koşullarının seçiminin önemli olduğu belirtilmektedir.

Gıdaların geleneksel yöntemle yüksek basınçta pişirilmesi, güçlü ısı işlem ve vitaminlerin düşük termostabilitesi nedeniyle lezzet ve renk özelliklerindeki değişikliklere ve pek çok vitaminin kaybına yol açmaktadır. Bu dezavantajları telafi etmek için endüstride güncel çalışmalar gerçekleştirilmekte, düşük sıcaklıklarda çalışılmasına izin veren cook-vide gibi sistemler sayesinde gıdanın tekstürü, duyu ve besinsel özellikleri muhafaza edilebilmektedir (García-Segovia vd., 2007; Lyng vd., 2019).

2.2.4. Ete Uygulanan Isıtma İşleminin Diğer Bazı Kalite Özelliklerine Etkisi

Pişirme sırasında et ve et ürünlerinin boyutunda önemli oranda küçülme gerçekleşebilmekte, bu da genellikle tüketiciler tarafından düşük kalite göstergesi olarak değerlendirilmektedir (Pathare ve Roskilly, 2016). Küçülme düzeyi, sıcaklık artışıyla birlikte artmakta ve pişirme sırasında büyük miktarda su ve yağ kaybına neden olmaktadır (Tornberg, 2005; Serdaroglu vd., 2005). Etin küçülmesi, pişirme sırasında suyun doku dışına taşınmasında önemli bir rol oynamaktadır ve pişirme sırasında etin alanının %7,0-19,0 (Tornberg, 2005) ve çapının %11,0-20,3 (Oroszvári vd., 2005) küçüldüğü belirtilmiştir. Bozkurt ve İcier (2010) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, farklı yöntemlerle pişirilen köfte örneklerin hacim azalması %5,4-31,6 arasında saptanmıştır.

Etin sululuğu da et kalitesinin değerlendirilmesinde önemli bir kriterdir. Et sululuğunun, etin çiğneme sırasında saldı ve tükürükten gelen sudan kaynaklandığı düşünülmektedir. Pişirme yöntemi ve çiğ et kalitesinin, etin sululuğu üzerinde etkisi vardır. Pişirme esnasında etin merkez noktasının sıcaklığının, etin sululuğunda büyük bir etkisi bulunmaktadır (Aaslyng vd., 2003; Pathare ve Roskilly, 2016; Pematilleke vd., 2021). Sululuk, doğrudan bir tekstürel özellik olmadığı için enstrümental TPA ile ölçülememektedir. Ancak, duyu bir tekstürel özellik olarak kabul edilmektedir. Ayrıca etin lezzeti, tazeliği ve tüketici tarafından kabul edilebilirliği açısından önemli bir özelliktir ve et dokusu üzerine yapılan birçok çalışmada değerlendirilmektedir. Sululuk, suyun salınma hızı ve mevcut su miktarı ile ilişkilidir (Ruiz De Huidobro vd., 2005). Sığır etinin pişirilmesinde, sululuk ve pişirme kaybı arasında negatif bir korelasyon (yüksek pişirme kaybı, düşük sululuk) vardır ki, pişirme kaybı, etin sululuğu üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (Toscas vd., 1999; Pathare ve Roskilly, 2016).

Et ürünlerine uygulanan ısı işlemler, lipid oksidasyonuna ve protein fraksiyonunun bazı bileşenlerinde değişikliklere neden olabilmekte; bu da et kalitesinde değişiklikler yaratabilmektedir (Pathare ve Roskilly, 2016). Et ve et ürünlerinin pişirilmesinin, oksidasyon hızı ve derecesini artırdığı kabul edilmektedir. McCarthy vd. (2001), pişirme işleminin domuz köftelerinin TBARS değerlerini önemli ölçüde artırdığını (çiğ köftelerdeki oksidasyon seviyelerinin 4 katı) rapor etmiştir. Et ve et ürünlerinin farklı işlemlerle veya farklı pişirme koşullarıyla pişirilmesi sonucu TBARS değerlerinde önemli farklılıklar gözlemlendiği bildirilmektedir (Vaudagna, 2002; Zell vd., 2010; Dai vd., 2014; Parvin, 2020).

2.3. Ohmik Isıtma

Son yıllarda üzerinde çalışmaların arttığı minimal ısı uygulamaları içerisinde önemli yeri olan ohmik ısıtma elektriksel bir ısıtma yöntemidir. Alternatif elektrik akımının gıda maddesinin içinden geçirilmesi sonucu elektrik enerjisinin ani ve homojen olarak ısı enerjisine dönüştürülmesi ve ısınmanın gerçekleşmesi prensibine dayanmaktadır (Skudder, 1989; Sastry, 1992; İçier, 2003; Bozkurt, 2009; Bozkurt ve İcier, 2010). Ohmik ısıtmada, gıdanın içinde elektrik akımına karşı gösterilen direnç ile ısınma sağlanmaktadır. Tekniğin diğer elektriksel ısı işlemlerinden temel farkı, gıda ile temas eden elektrotları içermesi, uygulanan frekans ve dalga şekliyle alakalıdır (Sun, 2006). Geleneksel yöntemlerde, gıda içerisindeki belirli kalınlığa sahip partikül fazı, sıvı faza kıyasla daha yavaş ısındığından gıdanın homojen olarak ısıtılması işlem süresi boyunca her iki fazda da mümkün olamayabilmektedir. Ohmik ısıtmada sıvı ve partikül fazın iyonik bileşimi uygun elektriksel iletkenliğe sahip olacak şekilde ayarlanabilirse gıdada yer alan bu iki fazın daha hızlı ve homojen ısıtılması mümkün olabilmektedir (Richardson, 2001).

Ohmik ısıtmanın hacimsel ve hızlı bir ısıtma yöntemi oluşu, geleneksel ısıtma tekniklerine alternatif bir teknik olarak kullanılmasını sağlamaktadır (Eroğlu vd., 2011). Alternatif bir ısıtma işlemi olmanın yanı sıra donmuş ürünlerin çözündürülmesinde, kurutma ve ekstraksiyon işlemlerinde de ohmik ısıtma kullanılabilir (Roberts vd., 1996; Richa vd., 2017). Ohmik ısıtma aynı zamanda uygulanan elektrik alanı altında hücre zarının elektroporasyonuna neden olabilmektedir. Düşük frekansın (50-60 Hz), hücre duvarlarında yük oluşumu sonucu gözenek oluşumunu sağladığı belirtilmektedir (Sastry ve Barach, 2000; Anderson, 2008).

Ohmik ısıtma sıvı ürünlerin yanı sıra parçacık içeren sıvı ürünler (çorbalar, yahniler, meyve dilimleri içeren şuruplar) ve ısıya duyarlı gıda ürünleri ile kullanılabilir. Protein içeriği yüksek olan (yumurta beyazı gibi) gıdalar, protein yapısı denatüre edilmeden ve pıhtılaştırılmadan pastörize hale getirilmektedir. Ohmik ısıtma geleneksel tekniklere alternatif olarak haşlama, pişirme, pastörizasyon, enzim veya mikrobiyal inaktivasyon ve sterilizasyon amaçlı kullanılabilmenin yanında donmuş ürünlerin çözündürülmesi, kurutma ve ekstraksiyon işlemlerinin hızlandırılması, meyve-sebzelerin kabuklarının soyulmasında da kullanım alanı bulmuştur (Roberts vd., 1996; Richardson, 2001; Bozkurt ve Icier, 2010; Boldaji vd., 2015; Gomes vd., 2018; Sharifi vd., 2022).

2.3.1. Ohmik Isıtmanın Tarihçesi

Ohmik ısıtmanın hacimsel ve hızlı bir ısıtma yöntemi oluşu, geleneksel ısıtma yöntemlerine alternatif bir teknik olarak kullanılmasını sağlamaktadır. Tekniğin kullanımına yönelik ilk çalışmalar 1930'lu yıllarda başlanmasına rağmen başlarda teknolojinin yetersiz oluşu sebebiyle geliştirilme fırsatı bulamamış ve uygulamaya geçememiştir. Gıda endüstrisinde ohmik ısıtma tekniğinin kullanımı ve tasarımı konusundaki öncü çalışma ise Stirling (1987) tarafından gerçekleştirilmiştir. Teknolojinin gelişmesiyle beraber 1990 yılında patentli bir sistem geliştirilerek, teknik alternatif bir ısıtma yöntemi olarak endüstriye sunulmuştur. Bu yıldan itibaren bilimsel çalışmalar ivme kazanmış, yeni elektrot tasarımları gerçekleştirilmiştir. Başka bir önemli adım 1993'te atılmış ve Birleşik Devletler Gıda ve İlaç İdaresi (US-FDA) stabil düşük asitli gıdaların ortam sıcaklığında işlenmesi için onay vermiştir (Ruan vd., 2001; Sun, 2014). Bazı modelleme, optimizasyon ve patent çalışmaları sonrası 2000 yılından itibaren de sürekli sistemlerdeki sıcaklık kontrolleri ve işlem parametreleri ile ohmik ısıtma sisteminin gıda kalitesine etkileri konularında bilimsel araştırmaların sayısı artmıştır (Ruan vd., 2001). ABD, İngiltere, İtalya ve Japonya gibi ülkelerde ohmik ısıtma sisteminin avantajları değerlendirilmiş; meyve suyu, süt ve tüketime hazır gıda üreticileri ısıtma veya pastörizasyon ünitelerinde ohmik ısıtma tekniğini ticari ve pilot ölçekte kullanmaya başlamışlardır (Ruan vd., 2001; Piette vd., 2004; Lyng vd., 2019).

2.3.2. Ohmik Isıtmanın Prensibi ve Sistem Elemanları

Ohmik ısıtma, elektriksel direnç gösteren, tek fazlı veya birden fazla faz içeren gıda materyali içinden alternatif elektrik akımının geçirilmesine dayanmakta ve bu işlem

esnasında ısı üretilmektedir (Eroğlu vd., 2011; Sun, 2014). Sıvı gıdalarda elektriksel direnç yüksek olduğundan ohmik ısıtma ile hızlı ve homojen ısıtma sağlanmaktadır. Gıda materyalinin elektrik akımına gösterdiği dirençle elektrik enerjisi ısı enerjisine dönüşmekte ve gıda ısıtılmaktadır. Joule ısıtma, elektriksel direnç ısıtma, doğrudan elektriksel direnç ısıtma, elektro ısıtma ve elektro iletken ısıtma, ohmik ısıtmanın diğer bazı isimleridir. Ohmik ısıtma geleneksel ısıtmaya göre daha kısa ısıtma sürelerine sahiptir; sıcak yüzeylerle teması azaltır ve sıcaklık gradyanlarını en aza indirmeye yardımcı olur (Sastry ve Barach, 2000; Bozkurt, 2009; Bhattacharya, 2014). Gıdanın elektriksel, termofiziksel ve reolojik özellikleri gibi ürün parametreleri ile frekans, elektrot malzemesi ve ohmik işlem ünitesinin geometrisi gibi proses parametreleri ohmik ısıtma işlemini etkilemektedir (Çizelge 2.2) (Richa vd., 2017).

Çizelge 2.2. Ohmik ısıtma sürecini etkileyen değişkenler (Richa vd., 2017)

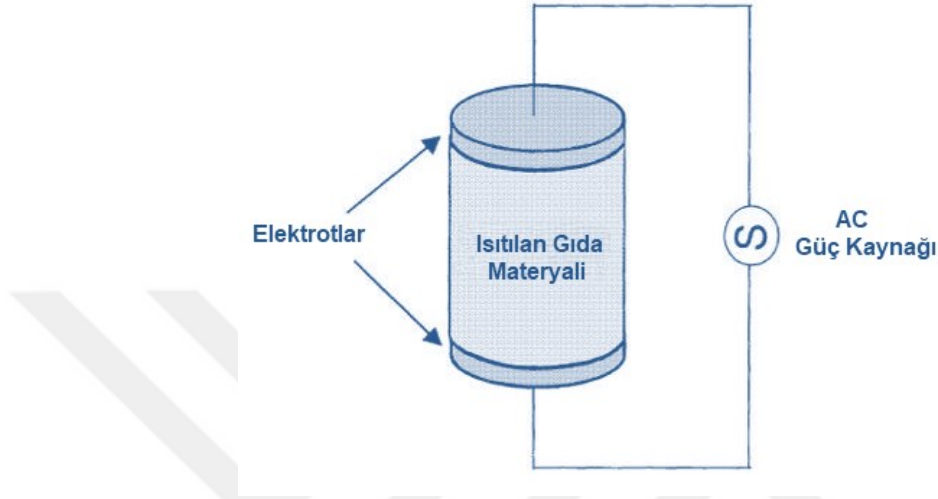
Gıdaya Ait Değişkenler	Elektriksel özellikler (Elektriksel iletkenlik, elektrik alan şiddeti)	Reolojik özellikler (Viskozite)	Fiziksel özellikler (Boyut ve şekil)	Termal özellikler (Isı üretim hızı)
Ohmik Isıtma Ünitesine Ait Değişkenler	Voltaj veya voltaj gradyanı	Elektrotlar arası mesafe	Elektrot alanı	Akım

Herhangi bir elektrik devresinin işleyişi, gerilim (voltaj), amper ve direnç gibi üç fiziksel elemanın varlığıyla karakterize edilmektedir. Dirençli elemanlar içeren devrelere uygulanan bu üç temel elektrik kavramı arasındaki matematiksel ilişki elektriğin en önemli temel yasalarından biridir ve Ohm Yasası olarak bilinmektedir (Denklem 2.1). Denklemde V: gerilimi (V), I: akımı (A) ve R: direnci (Ω) temsil etmektedir (Lyng vd., 2019).

$$V = I \times R \quad (2.1)$$

Elektrik enerjisi, herhangi bir ısı kaybı olmadan doğrudan ısıya dönüştürülebildiğinden, malzemenin ısınmasına neden olan iç enerjinin üretimi için kullanılabilen ve ısı üretim hızı, malzemenin elektrik alan kuvveti ve elektrik iletkenliğinin karesi ile doğru orantılıdır (Palaniappan ve Sastry, 1991; Zheng ve Sun, 2005; Richa vd., 2017). Ohmik ısıtmada genellikle 50-60 Hz alternatif akım kullanılmakta olup 1 MHz'a varan yüksek frekans seviyelerinin (>1 kHz) uygulandığı çalışmalar da mevcuttur (Shynkaryk vd., 2010; Jin vd., 2020; Khue vd., 2020). Şekil 2.1'de görüldüğü üzere ohmik ısıtmanın prensibi gıdaların sistemde bir elektrik

devresinin parçası haline getirilmesi ve akım gıdanın içinden geçtiğinde ısıнын doğrudan gıda içerisinde üretilmesidir. Gıdaların ısınma hızı, elektrik voltaj gradyanı ve gıdaların elektriksel iletkenliği ile doğrudan ilişkilidir. Ticari amaçlar için kullanılan ohmik ısıtma sisteminde, voltaj gradyanı ısıtmada belirlenen son ürün sıcaklığını sağlamak için voltaj ayarlanarak otomatik olarak kontrol edilmektedir (Ruan vd., 2001; Zheng ve Sun, 2005).



Şekil 2.1. Ohmik ısıtmanın prensibi (Ruan vd., 2001)

Yöntemde elektrik enerjisi ısıya dönüştürülmekte olup ısı üretimi voltaj gradyanı ve elektriksel iletkenliğe bağlıdır (Pathare ve Roskilly, 2016). Elektriksel iletkenlik, ısınma hızı ve ohmik ısıtma işleminde ana parametredir. Gıda ürünlerinin elektriksel iletkenliği genellikle su içeriği ve sıcaklıktaki artış ile artmaktadır ki, bu değişim, yüksek sıcaklıklarda artan iyon hareketliliğinden kaynaklanmakta ve bu da ohmik ısıtma işlemini daha etkili hale getirmektedir (Sun, 2014). Ohmik ısıtma hızı elektriksel iletkenlikle doğru orantılı olduğundan (Palaniappan ve Sastry, 1991) ve elektriksel iletkenlik değeri de artan tuz (veya elektrolit) içeriğiyle artış gösterdiğinden etkili bir ohmik ısıtma işlemi sağlamak için ürünün elektriksel iletkenlik değerinin ayarlanması önerilmektedir (Ruan vd., 2001).

Ohmik ısıtma sisteminde alternatif akım ürünün her iki ucundaki elektrotlara uygulanmaktadır. Isıtma hızı, elektriksel iletkenlik ve elektrik alan şiddetinin karesiyle doğru orantılıdır (Palaniappan ve Sastry, 1991; Zheng ve Sun, 2005; Richa vd., 2017) ki, elektrik alan şiddeti, elektrot aralığı veya uygulanan gerilimin ayarlanması ile değiştirilebilmektedir. Sıvı ve parçacıklı bir gıda karışımında, iki fazın elektriksel iletkenliği benzerse, ohmik ısıtma işleminde her iki fazda da aynı veya benzer oranda ısı

üretilebilmektedir. Diğer koşullarda, ısı özellikle katı kısımda sıvıya kıyasla daha hızlı üretilebilmektedir (Ruan vd., 2001; Zheng ve Sun, 2005; Sarang ve Sastry, 2008).

2.3.3. Ohmik Isıtma İşlemini Etkileyen Faktörler

Ohmik ısıtmanın hızını etkileyen kritik özellik ortamın elektriksel iletkenliğidir ve bu özellik sıcaklık, gıdanın mikroyapısı ve iyonik bileşenleri, elektrik alan kuvveti gibi bir dizi faktöre bağlıdır (Sastry, 1992; Lyng vd., 2019). Gıda karışımlarının partikül boyutu, şekli, konsantrasyonu ve bileşimindeki farklı fazların ortalama yoğunluğu, farklı elektriksel iletkenlik değerleri ve ohmik ısıtma hızlarına neden olabilmektedir (İçier, 2003; Richa vd., 2017). Elektriksel iletkenlikteki temel unsurlar, genel iletkenliği, taşıyıcı sıvı ve parçacıklar arasındaki iletkenlik farkını ve iletken olmayan gıda bileşenlerini kapsamaktadır. Piette vd. (2001) tarafından ohmik ısıtmanın yalnızca belirli bir elektriksel iletkenlik değer aralığında (0,01-10 S/m) mümkün olduğu ve en iyi sonucun 0,1-5,0 S/m aralığında elde edildiği belirtilmiştir. Çok düşük veya çok yüksek elektriksel iletkenlik değerlerinde et ürünlerinde ohmik ısıtma ile pişirme sırasında gereken ısıyı üretmek ve sıcaklık artışı sağlamak için oldukça yüksek voltaj veya amper değerlerinin gerektiği bildirilmektedir (Piette vd., 2004). Sun vd. (2014) tarafından gıda numuneleri için üç elektriksel iletkenlik sınıfı tanımlanmış olup bunlar i) yeterli elektriksel iletkenlik düzeyi ($\sigma > 0,05$ S/m): yumurta, yoğurt, sütlü tatlılar ve meyve suları gibi ii) yüksek elektrik alan kuvveti gerektiren düşük iletkenlik düzeyi ($0,005 < \sigma < 0,05$ S/m): margarin ve reçeller gibi ve iii) çok yüksek elektrik alan kuvveti gerektiren ve ohmik ısıtılması genellikle zor olan düşük iletkenlik düzeyi ($\sigma < 0,005$ S/m): donmuş gıdalar, yağ, şurup ve likör gibi ürünleri kapsar (Sun, 2014). Llave vd. (2018) farklı kimyasal bileşime sahip dana etine farklı frekans (50 Hz-20 kHz) ve sıcaklık (5-65°C) aralıklarında ohmik ısıtma uygulamış, elektriksel iletkenlik değerlerinin frekans, sıcaklık, nem ve yağ içeriğinden etkilendiğini; iletkenliğin sıcaklıkla doğrusal artış gösterdiğini bildirmiştir. Aydın vd. (2020) ohmik ısıtma işlemi uygulanmış balık püresinde sıcaklıktaki artışla elektriksel iletkenlik değerlerinin lineer modele uygun olarak artış gösterdiğini rapor etmiştir.

Elektriksel iletkenliğin yanı sıra partikül büyüklüğü ve konsantrasyonu ile taşıyıcı sıvının viskozitesi de ohmik ısıtma işleminin hızına etki etmektedir. Ürünün en önemli işleme faktörü olan elektriksel iletkenlik gıdadan gıdaya değişmekte olup et ürününe eklenen bileşenler ile de değişebilmektedir. Et ürünleri genellikle et ve et dışı bileşenler içeren bir formülasyonla hazırlanmakta, ohmik ısıtma sırasında elektrik akımı bu karışım üzerinden akmaktadır (Lyng vd., 2015; Bhattacharya, 2014). Bununla birlikte, bütün

haldeki yağsız et, kas lifleri ve bağ dokusundan oluşan kompleks bir yapıdadır ve aynı zamanda doku içinde bir miktar kas içi yağ bulunmaktadır (Lyng vd., 2019). Shirsat vd. (2004a), yağsız domuz etinin iletkenlik değerinin 0,64-0,86 S/m aralığında olduğunu bildirmiştir. Domuz yağının iletkenliğinin ise çok düşük olduğu (0,01-0,09 S/m arasında) belirtilmiştir. Araştırmacılar, yağın yağsız ete eklenmesinin karışımın iletkenliğini (i) yağın kendisi ve düşük iletkenliği nedeniyle azaltması ve (ii) yağın yağsız partikülleri kaplaması ve bu şekilde elektrik akımının geçişine engel oluşturması şeklinde etkileyebileceğini öne sürmüştür. Yine Bozkurt ve Icier (2010) tarafından ohmik ısıtma ile pişirilen köftelerin yağ içeriğinin pişirme süresini etkilediği bildirilmiştir. Ohmik pişirme süresindeki artış, yağın zayıf elektriksel iletkenliğinin örneklerin elektriksel iletkenliğini azaltması ve/veya yağ içeren bölgelerinin elektrik akımının geçişine engel oluşturabilmesi ile açıklanmıştır. İşlenmiş et ürünlerinde çeşitli işlevlere sahip ve ete dışardan eklenen birtakım bileşenler (tuz, baharatlar, nitrit ve nitrat gibi antimikrobiyal özellikte bazı bileşenler ile dolgu maddeleri gibi) de iletkenliği etkilemektedir. Bu bileşenlerin et ürününe eklenmesi ürünlerdeki hareketli iyon miktarını artırıyorsa elektriksel iletkenliği ve dolayısıyla ohmik ısıtma hızını artırmaktadır (Lyng vd., 2019).

Elektrik alan şiddeti, elektrotlar arasındaki mesafenin veya uygulanan gerilimin ayarlanması ile değiştirilebilmektedir. Voltaj gradyanındaki artışın et ürünlerinin ohmik ısıtma süresinin azalmasını sağladığı belirtilmektedir (Icier vd., 2014). Elektrik enerjisinin işlem süresince ısı enerjisine dönüşme oranı hem voltaj gradyanına hem de numuneden geçen akıma bağlı olduğundan sıcaklık artışının voltaj gradyanındaki artış ile yükseldiği Bozkurt ve Icier (2010) tarafından rapor edilmiş; voltaj gradyanının 40 V/cm'den 20 V/cm'ye düşürülmesi ile işlem süresinin 3 kat arttığı bildirilmiştir.

2.3.4. Ohmik Isıtma Tekniğinin Avantaj ve Dezavantajları

Ohmik ısıtma teknolojisi, parçacıklı gıda ürünlerinin sürekli işlenmesinde önemli bir kullanım potansiyeline sahiptir (Ruan vd., 2001). Geleneksel ısıtma yöntemleriyle karşılaştırıldığında ohmik ısıtmanın, hızlı ve homojen bir ısıtma oluşu ile ısıtma hızının artması, tortu oluşum riskinin az ve bakım maliyetinin düşük oluşu ile enerji verimliliğinin yüksek oluşu gibi belirgin avantajları bulunmaktadır (Skudder, 1993; Bhattacharya, 2014). Ohmik ısıtma, büyük parçacık içeren tüketime hazır gıdaların yüksek sıcaklıkta kısa süreli ve aseptik işlenmesinde kullanıldığında önemli avantajlara sahiptir (Zheng ve Sun, 2005; Bhattacharya, 2014).

Ohmik ısıtma teknolojisinin bir diğer avantajı olarak iç ısı üretimi ile hacimsel ısınma neticesinde gıdanın içinde büyük bir sıcaklık gradyanı oluşturmaması, geleneksel ısıtmadaki sınırlı ısı transferi ve mikrodalga ısıtmadaki gibi sınırlı dielektrik penetrasyonundan kaynaklanan homojen olmayan sıcaklık dağılımlarının önüne geçilmesi sayılabilmektedir (Ruan vd., 2001). Ohmik ısıtma ile pişirme, üründe homojen sıcaklık dağılımı sağlayarak mikrobiyal gelişmeyi önemli düzeyde engellemekte ve ürün içerisinde daha hızlı ve anında pişirme sağlamaktadır (Yildiz-Turp vd., 2013). Bu sayede gıdanın yanma riski ve mekanik hasarı azaltılabilmekte, besin öğeleri ile faydalı bileşenleri ve renk özellikleri daha iyi korunabilmektedir (Ruan vd., 2001; Shirsat vd., 2004b). Yine, partiküllerde sıvıdan daha yüksek sıcaklıklar elde edilebilmekte olup bu durum geleneksel ısıtma ile mümkün olmamaktadır. Sistemde elektrik enerjisinin %90'ı ısı enerjisine dönüştürüldüğünden yüksek enerji verimliliği, bakım maliyetlerinin azalması ile gıda endüstrisi için ekonomik ve pratik faydalar sağlanabilmektedir (Ruan vd., 2001; De Halleux vd., 2005). Ayrıca, geleneksel pişirme yöntemlerine kıyasla pişirme kaybının azaltılması ve sululuk oranının iyileştirilmesi ohmik ısıtmanın en önemli avantajlarından (Zell vd., 2009; Lyng vd., 2019). Ek olarak, ohmik ısıtma işlemine yönelik çalışmalar, işlemin kütle transferine yol açan elektroporasyon etkisini ve kütle transfer işlemi öncesinde sebze dokularının difüzyon, ekstraksiyon veya dehidrasyon gibi özelliklerinin geliştirilmesinde bir ön işlem olarak kullanılabilirliğini de vurgulamaktadır (Sun, 2014; Pereira vd., 2016; Cabas ve Icier, 2021; Sharifi vd., 2022).

Ohmik ısıtma teknolojisinin diğer yeni işleme teknikleri gibi bazı dezavantajları veya sınırlamaları da bulunmaktadır. Örneğin, ısınma hızı parçacıkların elektriksel iletkenliklerinin heterojen oluşundan, parçacık şekli ve yönelimi gibi faktörlerden etkilenebilmekte, bu da sıcaklık dağılımı ve homojenlik kontrolünü zor hale getirebilmektedir (Ruan vd., 2001). Ayrıca, parçacıkların taşıyıcı ortamdan önemli ölçüde daha düşük bir elektrik iletkenliğine sahip olması durumunda ohmik ısıtma sırasında parçacıklar daha yavaş ısıtılabilir. Parçacıklar büyüdükçe ve yüzey-hacim oranları azaldıkça taşıyıcı ortam ile arasındaki ısı transferi, ürünün ısınma hızı ve dağılımını değiştirebilmektedir (Bhattacharya, 2014). Et örnekleri genellikle heterojen yapıya sahip olduğundan ve yağ gibi iletkenliği düşük bileşikler, kas dokusu kadar hızlı ısı üretmediğinden üründe soğuk noktalar oluşabilmekte, işlem homojen olmayan ısı dağılımı sorunlarına neden olabilmektedir ki, bunlar, ohmik ısıtma tekniği et ve et ürünlerine uygularken karşılaşılan önemli sorunlar arasındadır (Yildiz-Turp vd., 2013; Bhattacharya, 2014; Pathare ve Roskilly, 2016).

2.3.5. Ohmik Isıtmanın Gıdaların İşlenmesinde Uygulama Alanları

Ohmik ısıtma, gün geçtikçe daha fazla ilgi çeken alternatif bir ısıtma yöntemi olarak pek çok gıda işleme prosesinde geniş çapta araştırılmakta ve uygulanmaktadır. Ohmik ısıtma ile işlenen gıda ürünleri katı, sıvı veya sıvı-parçacık karışımından oluşabilmektedir (Bhattacharya, 2014). Ohmik ısıtma işlemi, gıda endüstrisinde mevcut sterilizasyon teknikleri ile gerçekleştirilemeyen yeni, yüksek katma değerli, raf ömrü uzun ürünler üretme fırsatı sunmaktadır (Ruan vd., 2001).

Ohmik ısıtma gıda endüstrisinde genel olarak pişirme, ön ısıtma, haşlama, pastörizasyon ve sterilizasyon ve ekstraksiyon gibi amaçlarla (Çizelge 2.3) geniş bir ürün yelpazesinde kullanılmaktadır (Mizrahi, 1996; Icier vd., 2005, 2014; Icier, 2010; Engchuan vd., 2014; Yucel Sengun vd., 2014; Sharifi vd., 2022). Gıdalardaki enzim ve mikroorganizmaların ohmik ısıtma destekli inaktivasyonuna yönelik literatür çalışmaları son yıllarda sayıca artış göstermiş, yöntemin genel olarak geleneksel ısı işlem yöntemine önemli bir alternatif olarak kullanılabilirliği bildirilmiştir (Gomes vd., 2018; Makroo vd., 2020; Tian vd., 2020). Ohmik ısıtmayla pişirme işlemi et ve et ürünleri işleme endüstrisinde de farklı amaçlarla kullanılmakta ve araştırılmaktadır (Shirsat vd., 2004b; Zell vd., 2009; Engchuan vd., 2014; Bozkurt ve Icier, 2010; Icier vd., 2014; Bedone vd., 2021; Kadem vd., 2023). Yöntem ayrıca viskoz ürünlerin ve sıvı fazda büyük parçacıklar içeren ürünlerin işlenmesi konusunda gün geçtikçe daha fazla ilgi çekmektedir (Bhattacharya, 2014).

Ohmik ısıtma büyük ölçüde, çözünmüş iyonların hareketini indükleyen elektrik akımının bir gıdadan geçmesi ile meydana gelmektedir. İndüklenen kinetik enerji de termal enerjiye dönüştürülerek ürün içinde sıcaklık artışlarına yol açmakta ve bu nedenle, et gibi kolloidal bir malzemede ohmik ısıtma geleneksel pişirmede karşılaşılandan daha fazla iyonik hareket ve içsel ısı üretimine neden olmaktadır (Shirsat vd., 2004b). Ohmik ısıtma öncesi gıdaların ön işlenmesi önemlidir. Efektif bir ön işlem genellikle elektriksel iletkenliğin ayarlanmasını ve optimizasyonunu kapsamakta, böylelikle dokuda, renk ve lezzette meydana gelen kayıplar azaltılabilmekte, karışımın fazları arasında homojen ısıtma hızlarının eldesi sağlanabilmektedir (Sun, 2014).

Çizelge 2.3. Ohmik ısıtmanın gıdalardaki potansiyel uygulamaları

İşlem	Gıda Ürünü	Voltaj/Voltaj gradyanı	İşlemin Etkisi/Sonuç	Kaynak
Isıtma/Pişirme	Köfte	15,26 V/cm	Ohmik ön pişirme-infrared son pişirme kombinasyonunun köftelerin pişirilmesinde sürenin azaltılması açısından önemli bir potansiyele sahip olması	Yucel Sengun vd. (2017)
	Domuz eti	10 V/cm	Ohmik ısıtmayla pişirilmiş ette geleneksel yöntemle (su banyosu) kıyasla önemli ölçüde daha düşük pişirme kaybı, Depolama sırasında daha düşük lipid oksidasyonu	Dai vd. (2014)
Çözündürme	Domuz eti	20-50 V	Ohmik yöntem ile geleneksele kıyasla (daldırarak) daha hızlı çözündürme ve daha düşük çözünme kaybı	Hong vd. (2007)
	Sığır köfte	10-16 V/cm	Ohmik çözündürme işleminin et ve et ürünlerinin çözülmesinde alternatif yeni bir teknoloji olması, Elektriksel iletkenlikte sıcaklıktaki artış ve yağ içeriğindeki azalma ile artış	Cevik ve Icier (2018)
Haşlama	Tetsukabuto kabağı	İlk 40s; 180±1 V Ardından; 163±5 V	Ohmik ısıtma ile daha yüksek enzimatik (peroksidaz enzimi) inaktivasyon hızı, 2 dakikada %90'ın üzerinde inaktivasyon	Gomes vd. (2018)
	Mantar	90-150 V	Yüksek voltajda daha uzun süre haşlanmış mantarlarda haşlanmamışlara kıyasla mikrodalga tekniği ile daha hızlı kuruma	Soghani vd. (2018)
Evaporasyon	Vişne suyu	10-14 V/cm	Ohmik ısıtma-vakum buharlaştırma sistemi entegrasyonu ile suda çözünür kuru madde içeriğinde %19,2'den %65,0'ye başarılı bir azalma	Sabancı ve Icier (2017)
	Domates salçası	6-14 V/cm	İşlem süresinde 28,3 dakikadan 4,3 dakikaya azalma, Voltaj gradyanı arttıkça zaman, pH ve spesifik enerji tüketiminde azalma	Boldaji vd. (2015)
Ekstraksiyon	Nar	10 V/cm	Pektin ekstraksiyonunda geleneksel asidik ekstraksiyon yöntemine göre (80 dakika) ohmik ısıtmanın (18 dakika) daha hızlı oluşu	Sharifi vd. (2022)
	Renkli patates	15 ve 30 V/cm	Fitokimyasalların ekstraksiyonunda ohmik ısıtma ile artış, daha düşük enerji tüketimi	Pereira vd. (2016)

2.3.5.1. Pişirme ve Mikrobiyal İnaktivasyon

Ohmik ısıtma işlemde mikroorganizmaların inaktivasyonunun temel olarak ısı etkisi ile gerçekleştiği belirtilmektedir (Aymerich vd., 2008; Lyng vd., 2019). Bununla birlikte, mekanik ve kimyasal etkiler olarak adlandırılan iki başka mekanizma da bildirilmektedir.

Mekanik etki zarar görmüş hücre zarından hücre bileşiminin sızması ile mikroorganizmaların ölümüne yol açarken, kimyasal etki serbest oksijenin, hidrojen, hidroksil ve hidroperoksil radikallerinin ve metal iyonlarının oluşumunu ve bu maddelerin bakterilerin ölümüne yol açmasını kapsar (Ruan vd., 2001; Lyng vd., 2019). Isıl inaktivasyon mekanizmasına ek olarak ohmik ısıtma işlemi sırasında düşük frekansta (50-60 Hz) gerçekleştiği bilinen elektroporasyon mekanizması sayesinde hücre duvarları boyunca gözeneklerin oluşması ve elektrik yüklerinin birikmesi sağlanmaktadır (Ruan vd., 2001). Yoon vd. (2002) tarafından ohmik ısıtma işlemin hücre zarlarının geri dönüşümsüz elektroporasyonuna neden olduğu sonucuna varılmıştır. Ohmik ısıtma tekniğinde ısıtma işlemi ek olarak gerçekleşen elektroporasyon sayesinde işlemin letal etkilerinin artırılabilirliği (Anderson, 2008; Yıldız-Turp vd., 2013) ve ohmik pişirme işleminin gıdada homojen sıcaklık dağılımı oluşturarak mikrobiyal gelişimi etkili bir şekilde engelleyebileceği belirtilmektedir (Yıldız-Turp vd., 2013).

Ohmik ısıtmanın ürün içinde hızlı ısı üretebilme özelliği pişirme işlemini hızlandırmak için kullanılabilir. Hazır yemek sektöründe mikrobiyal kontaminasyonu önlemek için dondurulan köfteler genellikle pişirilmektedir. Dondurulmuş köftelerde merkezde 70°C'ye ulaşmak için gereken uzun süre ürünlerdeki buzun erime gizli ısısından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, bu pişirme yöntemi yüksek güç tüketimi gerektirirken, duyu özellikleri değiştirmekte ve tüm patojen mikroorganizmaların inaktivasyonunu garanti etmemektedir (Sun, 2014). Ohmik ısıtmanın et ve et ürünlerinde pişirme amacıyla kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde, Özkan vd. (2004) ohmik ve plakalı ısıtmayı birleştiren yeni bir pişirme yöntemini hamburger köftesinin pişirilmesinde uygulamış, 50 V değerinde pişirme süresi yaklaşık %30 kısaltılmış, köftelerin tat ve tekstürü üzerine kullandıkları tekniğin herhangi bir olumsuz etkisini gözlememiştir. Ohmik ve geleneksel (su banyosunda) yöntemle pişirilmiş domuz etinin soğukta muhafazası sırasında meydana gelen değişiklikler ile renk ve tekstürel özelliklerinin incelendiği bir çalışmada (Dai vd., 2014), ohmik pişirme ile etin lipid oksidasyonu değerlerinin daha düşük olduğu bulunmuştur. Ohmik yöntemle pişirilen etlerde protein oksidasyonunun ve sertliğin arttığı tespit edilmiştir. Ohmik ısıtmayla pişirilmiş etin, 7 günlük depolama sırasında daha düşük TBARS ve serbest tiyol değerlerine, kesitte daha açık renge ve daha iyi renk özelliklerine, daha iyi lipid oksidasyonu stabilitesine ve daha yüksek sertliğe sahip olduğu bulunmuştur. Yucel Sengun vd. (2017), kombine ohmik-infrared pişirme işlemlerinin köftelerdeki mikrobiyolojik inaktivasyon üzerine etkilerini araştırmış, ohmik pişirmenin toplam

pişirme süresini azaltarak yüksek kalitede ön pişmiş köfte eldesinde hızlı bir yöntem olarak kullanılabileceğini bildirmiştir.

2.3.5.2. Çözündürme

Çözündürme işlemi, gıdanın mikrobiyolojik kalitesi için kritik bir işlemdir ve düşük sıcaklıkta hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi önemlidir. Geleneksel yöntem donuk ürünün genellikle sirküle edilen su içerisinde çözündürülmesini (<20°C) kapsamakta olup bu yöntemin, ürün yüzeyinde oluşabilecek mikrobiyal çoğalma ve çözünür proteinlerin sızması nedeniyle besin kalitesinde azalma, su tüketiminin yüksek olması ve sonuç olarak büyük miktarlarda atık su oluşumu gibi bazı dezavantajları bulunmaktadır. Dielektrik veya mikrodalga çözündürme, bu sorunları önleyebilmekte ancak ürün yüzeyi merkezden önce pişebilmektedir. Donuk gıda bloklarının çözünmesi için bir başka alternatif de ohmik ısıtmadır (Sun, 2014). Ohmik çözündürme yönteminin sığır eti parçalarının yapısal değişiklikleri üzerindeki etkisinin incelendiği bir çalışmada, ohmik ısıtma ile çözündürülen sığır eti parçalarının, geleneksel yöntemle çözünenlere göre daha sert olduğu, geleneksel çözündürme yönteminin daha elastik yapıda sığır eti sağladığı belirtilmiştir (Icier vd., 2010).

Tuzlu suya daldırarak çözündürme ve ohmik çözündürmenin domuz etinin fizikokimyasal özellikleri üzerindeki etkilerinin incelendiği bir çalışmada (Hong vd., 2007), ohmik çözündürmede daha yüksek çözündürme hızı saptanmıştır. Voltaj seviyesindeki artış ile çözünme kaybının azaltıldığı ve su tutma kapasitesinin arttırıldığı bildirilmiştir. Cevik ve Icier (2018), farklı yağ içeriklerine sahip (%2-18) dondurulmuş kıyma örneklerine ohmik çözündürme işlemi uygulamış, ohmik çözündürme işleminin et ve et ürünlerinin çözülmesinde alternatif yeni bir teknoloji olarak uygulanabileceğini bildirmiştir. İşlem esnasında merkez noktadan ölçülen sıcaklık değerlerinin ohmik çözündürme sırasındaki ortalama sıcaklığı temsil edebileceği saptanmıştır.

2.3.5.3. Haşlama

Haşlama, gıda işleme sürecinde pek çok meyve ve sebzenin işlenmesinde önemli bir işlemdir. İşlemin gıdanın kalitesinin arttırılmasına yönelik; mikrobiyal veya enzimatik (polifenoloksidaz ve peroksidaz gibi) inaktivasyon veya tahribat, iyileştirilmiş kurutma özellikleri, doku içindeki gazın, pestisit ve toksik bileşenlerin, kötü tat veya bulanıklığın giderilmesi ve indirgeyici şekerlerin uzaklaştırılması gibi farklı işlevleri bulunmaktadır (Sun, 2014; Gomes vd., 2018; Soghani vd., 2018). Gomes vd. (2018) tarafından

gerçekleştirilen bir çalışmada kabağın haşlanmasında farklı yöntemler (ohmik ve geleneksel haşlama) kullanılmış, ohmik ısıtma peroksidaz enziminin daha hızlı inaktive edilmesini sağlamıştır. Her iki işlem de kabağın renginde benzer değişiklikler yaratmıştır. Sonuçlar, ohmik ısıtma teknolojisinin istenmeyen enzimleri inaktive etmede ve gıda rengini korumada etkili olduğunu göstermiştir. Soghani vd. (2018) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada ise ohmik haşlama mantar örneklerine uygulanmış; ohmik ısıtmayla haşlama süresi ve voltajının, haşlama işlemi sırasında kütle kaybı, ısı transferi, elektriksel iletkenlik değişimleri ve enerji tüketimi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu saptanmıştır. Yüksek voltaj değerlerinde haşlanmış mantarların haşlanmamış olanlara göre önemli düzeyde daha hızlı kuruduğu rapor edilmiştir.

2.3.5.4. Evaporasyon

Suyun gıda ürünlerinin konsantre edilmesi işleminde uzaklaştırılması gerekmektedir. Buharlaştırma, yaygın olarak kullanılan su uzaklaştırma yöntemi olmasına rağmen üründe kalite kayıplarına neden olabilmektedir. İşlem süresince giderek daha viskoz hale gelen üründeki zayıf ısı transferi nedeniyle işlem süresi uzayabilmekte, duyu ve besinsel özellikler olumsuz etkilenebilmektedir (Sun, 2014). İnek sütü, manda sütü ve karışımlarının (50:50, hacmen) konsantrasyonu sırasında ohmik ısıtmanın fizikokimyasal, reolojik, duyu ve mikrobiyal özellikler üzerindeki etkisinin incelendiği ve geleneksel buharlaştırmayla karşılaştırıldığı bir çalışmada (Parmar vd., 2018), ohmik ısıtma sütlerin serbest yağ asitlerini, görünür viskozitelerini, hidroksimetilfurfural (HMF) içeriğini, kırmızılık (a^*) ve sarılık (b^*) renk değerlerini önemli ölçüde artırmıştır. Ohmik ısıtmanın vakum buharlaştırma sistemi ile entegre edildiği ve vişne suyunun konsantre edildiği bir çalışmada (Sabanci ve Icier, 2017) ise yöntemin meyve sularının konsantre edilmesi için uygulanan buharlaştırma sürelerini kısaltmak amacıyla alternatif bir ısı kaynağı olarak kullanılabileceği belirlenmiştir. Boldaji vd. (2015), atmosferik koşullar altında domates salçasına nem içeriği kuru bazda 9,33'ten 2,20'ye ulaşana kadar ohmik ısıtma (6-14 V/cm) uygulamıştır. Salça örneklerinin ısı üretim hızı, numunenin ısıtma ve buharlaştırma işlemleri sırasında değişen voltaj gradyanına ve elektriksel iletkenliğe bağlı olarak değişmiştir. Üründe suyun buharlaştırılmasıyla artan konsantrasyon sayesinde elektrik iletkenliği ve ısı üretim hızı artmıştır.

2.3.5.5. Kütle Transfer İşlemlerinde Ön İşlem Olarak Uygulamaları

Gıda işlemede difüzyon ve ekstraksiyon gibi işlemlerde verimliliğin artırılması ve kütle transferinin iyileştirilmesi önemlidir. Ürün kalitesi ve verimliliğini artırmak için genellikle ürün boyutunda küçültme ve/veya ön ısıtma kullanılabilir (Sun, 2014). Narda bulunan pektinin ohmik ısıtma yöntemiyle ekstrakte edildiği ve sonuçların geleneksel asidik ekstraksiyonla kıyaslandığı bir çalışmada (Sharifi vd., 2022), pektin ekstraksiyonunda ohmik ısıtma yönteminin (18 dakika) geleneksel asit yöntemiyle karşılaştırıldığında (80 dakika) daha hızlı bir yöntem olduğu bildirilmiştir. Ohmik ısıtma yöntemiyle ekstrakte edilen pektindeki galakturonik asit oranı önemli ölçüde daha yüksek bulunmuştur. Ohmik ısıtma uygulamasının farklı sıcaklık ve süreler için mor patatesten fitokimyasal (antosiyenin ve fenolik bileşikler) ekstraksiyonunu önemli ölçüde etkilediği bildirilmiştir (Pereira vd., 2016). Yine, ohmik ısıtma yönteminin kullanımı ile daha kısa işlem süresi ve daha az enerji tüketiminin sağlandığı, organik çözücü kullanılmaması gibi avantajlarla ekstraksiyon etkinliğinin artırıldığı belirtilmiştir.

2.3.6. Ohmik Pişirme İşleminin Et ve Et ürünleri ile Kullanımı

Ohmik ısıtma et ve et ürünlerinin pastörizasyonunda potansiyel uygulamalara sahiptir. Geleneksel olarak, et ürünlerinin ticari pastörizasyonu, ürünün uygun bir kap içine konması ve ardından sıcak suya batırılması veya buharda pişirilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Bu süreçlerde ısı, ürünün dış yüzeyinden iç kısmına iletim yoluyla aktarılmakta olduğundan iç kısmın uygun sıcaklıklara ulaşmasını beklerken ürünün dış bölgeleri aşırı ısınabilmekte, bu durum da ürün kalitesini ve besin değerini azaltabilmektedir (Shirsat vd., 2004b; Zheng ve Sun, 2005). Ohmik ısıtma yönteminde, ürün içinde başlayıp iç bölgede oluşan yüksek sıcaklık daha sonra dış bölgeye doğru yayılmaktadır. Öte yandan, ohmik ısıtma hacimsel bir ısıtma tekniği olduğundan ürünün dış bölgelerinin aşırı ısınmasını büyük ölçüde önleyerek teorik olarak ürünün tüm bölgelerinin neredeyse aynı anda ve hızda ısınmasını sağlayabilmekte, işlem süresi kısaltılabilmektedir. Bu da ürün kalitesi ve besin değerinin korunmasında büyük avantaj sağlamaktadır (Zheng ve Sun, 2005; Lyng vd., 2019).

Ohmik ısıtma ve pişirme uygulamalarının, et ve et ürünleri ile kullanımı popüler hale gelmektedir (Richa vd., 2017). Ohmik pişirme işleminin et ve et ürünlerinde kullanımına dair yapılan çalışmalar incelendiğinde, köfte örneklerinin farklı son sıcaklıklara (70, 75 ve 80°C) ohmik ısıtmayla pişirilme etkinliğinin incelendiği bir

çalışmada (Şengün vd., 2013) örneklere 15,26 V/cm voltaj gradyanı kullanılarak ohmik pişirme işlemi uygulanmıştır. Ohmik pişirme işleminin tüm sıcaklıklarda *Salmonella enteridis*'i tamamen inaktive ettiği saptanmış, işlemin et ürünleri ile kullanılabilecek mikrobiyolojik açıdan güvenilir ve alternatif bir yöntem olabileceği belirtilmiştir. Hamburger köftelerinin pişirilmesinde ohmik pişirme ve ısıtılmış plakalar arasında geleneksel pişirmenin kombine kullanımının incelendiği bir başka çalışmada yöntemin geleneksel pişirmeye kıyasla gerekli olan pişirme süresini azalttığı saptanmıştır (Özkan vd., 2004).

Bozkurt ve İcier (2010) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada farklı başlangıç yağ içeriklerine (%2, 9 ve 15) sahip silindirik kıyma örnekleri, ohmik ısıtma (20, 30 ve 40 V/cm) ve elektrikli ızgarada geleneksel yöntemle pişirilmiştir. Ohmik pişirme, geleneksel pişirmeye göre önemli ölçüde daha kısa sürede tamamlanmış, ohmik pişirilen örneklerin geleneksel yöntemle pişirilenlere kıyasla daha sert olduğu, ancak verim ve yapıda yağ tutulumlarının benzer olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte, pişirme sırasında hacimdeki azalma geleneksel yöntemle kıyasla ohmik pişirmede önemli düzeyde daha düşük bulunmuştur. Ohmik yöntemle pişirilen kıymada rengin daha homojen olduğu saptanmıştır. Piette vd. (2004), et ürünlerinin pişirilmesinde (70, 75 ve 80°C) ohmik ısıtma kullanıldığında pişirme süresinin son derece kısaltılabileceğini, 1 kg ağırlığındaki jambonun 2 dakikadan az bir sürede pişirilebildiğini, ohmik ısıtma ile pişirilmiş emülsiyonun geleneksel pişirmeye (buharda) kıyasla önemli ölçüde daha yumuşak olduğunu bildirmiştir. Zell vd. (2009), bütün bir dana eti için ohmik ısıtma ve buharda pişirmeyi kullanmış, ohmik ısıtma ile pişirilen etin daha homojen, daha açık renkli ve daha az kırmızı rengine sahip olduğunu, pişirme kaybının daha az olduğunu ancak buharla pişirilen ete göre daha sert bir dokuya sahip olduğunu bildirmişlerdir. Yucel Sengun vd. (2014) tarafından ohmik ön-pişirme ile yüksek pişirme verimi ile nem ve yağ tutma değerlerine sahip, duysal kalite özellikleri yüksek köfte örnekleri elde edilmiştir. Et ürünlerinde ohmik ısıtma uygulamasının geleneksel pişirmeye kıyasla oldukça kısaldığını bildiren farklı çalışmalar mevcuttur (Özkan vd., 2004; De Halleux vd., 2005; Ángel-Rendón, 2020; Pematilleke vd., 2021).

Ángel-Rendón vd. (2019)'nin yaptığı çalışmada domuz etinde 21 ± 1 V/cm elektrik alan şiddetinde 2,0, 2,5 ve 3,0 dakika uygulanan ohmik pişirme işlemi tavada pişirme işlemi ile karşılaştırılmış, örneklerin su tutma kapasitesi, pişirme kaybı ve renk özellikleri üzerine işlemlerin etkisi incelenmiştir. Ohmik ısıtmanın tavada pişirmeye kıyasla pişirme kaybı, renk ve su tutma kapasitesi gibi önemli faktörleri önemli ölçüde etkilemediği, daha

kısa pişirme süreleri sayesinde gastronomi sektörü ve tüketiciler için bir avantaj teşkil edebileceği belirtilmiştir. Balpetek Külcü vd. (2018)'nin yaptıkları çalışmada ohmik ve mikrodalga pişirme uygulanmış ve buzdolabı şartlarında depolanmış (0-4°C, 10 gün) tavuk göğüs etlerinin bazı mikrobiyal kalite değişimleri incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre mikrobiyal bozulmanın (toplam psikrofil ve aerob bakteriler ile küf-maya gelişimi), mikrodalga pişirme uygulanmış örneklerde ohmik pişirme işlemi uygulananlara kıyasla daha erken başladığı gözlemlenmiş, ohmik pişirmenin tavuk göğüs etlerinin muhafaza süresini uzatabileceği belirtilmiştir.

Tian vd. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, sodyum klorür (NaCl) ilavesi ile ohmik ve su banyosunda pişirmenin domuz etinde *Escherichia coli* O157:H7 inaktivasyonu üzerine etkileri depolama sırasında incelenmiştir. Ohmik ısıtma ile pişirilen numunelerin hedeflenen son nokta sıcaklığına (61, 65 ve 72°C) ulaşma süresinin su banyosunda pişirmeye kıyasla daha kısa olduğu ve NaCl ilavesinin ohmik pişirilmiş numunelerin pişirme süresini önemli ölçüde kısalttığı ancak su banyosunda pişirme için önemli bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Su banyosunda pişirmeye kıyasla NaCl içeren ve ohmik yöntemle pişirilen numunelerin daha düşük pişirme kaybına sahip olduğu saptanmıştır. Aydın vd. (2020)'nin ohmik ve geleneksel ısıtma yöntemlerinin (78°C) sıcak tütsülenmiş balık ezmesinin (fish pâté) bazı kalite parametreleri ve besinsel özellikleri üzerindeki etkilerini soğukta depolama sürecinde (20 gün) takip ettikleri çalışmalarında ohmik ısıtmanın geleneksel ısıtma yöntemine kıyasla işlem süresi, enerji verimliliği ve enerji tüketiminde önemli bir azalma sağladığı saptanmıştır. Benzer bileşime sahip olmakla birlikte, ohmik ısıtılmış balık ezmesinde geleneksel yöntemle ısıtılmış balık ezmesine kıyasla daha düşük tiyobarbitürik asit (TBA) ve pH değerleri tespit edilmiştir. Bununla birlikte, ohmik ısıtma geleneksel ısıtma yöntemine kıyasla işlem süresinde ve enerji tüketiminde önemli bir azalma sağlamıştır.

Sürekli tip ohmik pişirme ünitesi kullanılarak yarı pişirilmiş köftelerin bazı kalite özellikleri üzerine proses değişkenlerinin etkilerinin araştırıldığı bir başka çalışmada (Icier vd., 2014), örnekler 50 Hz frekansta farklı voltaj gradyanları (15, 20 ve 25 V/cm) kullanılarak 75°C'ye kadar ohmik ısıtılmış ve farklı sürelerde (0, 15 ve 30 s) bu sıcaklıkta tutulmuştur. En uygun yarı pişirme koşulu, en düşük sertlik, maksimum çiğnenebilirlik ve elastikiyet ile toplam mikroorganizma sayısındaki en yüksek düşüş kriterleri doğrultusunda belirlenmiş, bu kriterleri karşılayan optimum yarı pişirme koşulu 15,26 V/cm voltaj gradyanı ve 75°C sıcaklıkta, tutma süresinin sıfırıncı saniyesi için saptanmıştır.

Et ürünlerine uygulanan ısıt işlemler, üründe tekstürel değişikliklere yol açabilmektedir. Pişirme yöntemi, et ürününün sertliğini ve dayanıklılığını doğrudan etkilemekte, ohmik pişirme için ise tekstürel değişiklikler, işlem sırasında uygulanan işlem sıcaklığı ve süresine büyük oranda bağlı olmaktadır (Vasanthi vd., 2007). Ohmik pişirme homojen ve hızlı ısıtma sağladığından pişmiş köftelerde bu yöntemin geleneksel yöntemlerden farklı tekstürel değişiklikler yaratması beklenmektedir. Et emülsiyonlarının tekstürel özellikleri açısından ohmik veya geleneksel pişirme arasında anlamlı bir fark olmadığını bildiren çalışmalar da mevcuttur (Piette vd., 2004; Shirsat vd., 2004e; Zell vd., 2010). Köftelerin ohmik pişirme sırasında arzu edilen tekstürel değişikliklerinin sistemin ohmik pişirme koşullarını optimize ederek elde edilebileceği bildirilmektedir (Icier vd., 2014). Ohmik pişirmenin, et ürünlerinde yüzey rengi ve tekstürel özelliklerde istenilen değişiklikleri sağlamak için yetersiz bir pişirme yöntemi olabileceğini ancak toplam pişirme süresini azaltarak yüksek kaliteli yarı-piştirilmiş köfte eldesinde son pişirme işlemi öncesinde hızlı bir ön pişirme yöntemi olarak kullanılabileceğini rapor eden çalışmalar mevcuttur (Bozkurt ve Iciçer, 2010, Yıldız-Turp vd., 2013; Iciçer vd., 2014; Yucel Sengun vd., 2017). Yucel Sengun vd. (2017) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada ohmik pişirmenin, toplam pişirme süresini azaltarak yüksek kaliteli ön piştirilmiş köftelerin elde edilmesinde infrared son pişirme işleminden önce hızlı bir pişirme yöntemi olarak kullanılabileceği bildirilmiştir.

2.3.7. Etin Pişirilmesinde Enerji Gereksinimi

Gıdaların pişirilmesinde enerji gereksinimi oldukça yüksek olabilmekte ve farklı pişirme yöntemlerine göre değişebilmektedir. Pişirme yönteminin, etin yeme kalitesi üzerinde büyük bir etkisi olduğu bilinmektedir ve pişirme yöntemi seçiminde dikkate alınması gereken önemli bir parametre de enerji tüketimidir. Gıdaların pişirilmesindeki enerji gereksinimi; pişirme yöntemi, cihazlar ve tüketici davranışına bağlı olarak değişmektedir. Gıdaların pişirilmesi sırasında enerji tüketimini azaltan uygulamaların hayata geçirilmesi, dünya çapında enerji taleplerini önemli ölçüde etkileme potansiyeline sahiptir (Pathare ve Roskilly, 2016). Pişirme sırasında enerji tüketimini azaltan yöntemlerin uygulanması, küresel enerji talepleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Etin yapısı, boyutu ve pişirme kabının durumu enerji kullanımı üzerinde etkili olabilmektedir. Tüketicilerin pişirme türü tercihi ve gıdaların pişirilmesi sırasında gerçekleştirebilecekleri enerji tasarrufu sağlayan davranışlar pişirme sırasında harcanan enerji miktarı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Wood ve Newborough, 2007; Pathare ve Roskilly, 2016).

Bozkurt ve Icier (2010), farklı voltaj gradyanlarında sığır etinin ohmik pişirilmesi sırasında enerji verimliliğinin voltaj gradyanı arttıkça arttığını bildirmiştir. Ohmik pişirmede elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüşümü hızlı gerçekleştiğinden geleneksel pişirme işlemlerine kıyasla enerji verimliliği yüksektir (Icier vd., 2010). De Halleux vd. (2005), Bologna jambonunun ohmik ısıtım ile pişirilmesi için 211-252 kJ/kg enerji gerektiğini rapor etmiştir. Jouquand vd. (2015), dana etinin pişirilmesinde mikrodalga ve geleneksel pişirme yöntemlerini karşılaştırmışlardır. Mikrodalga pişirmede (4,67 kWh), geleneksel pişirmeye (6,52 kWh) kıyasla daha düşük enerji tüketimi (%56 azalma) sağlanmıştır. Bu durum, pişirme süresinin geleneksel pişirmeye kıyasla azalması ile açıklanmıştır. Ohmik ve kızılötesi pişirme kombinasyonunun köftelerin pişirilmesinde kullanımı ile örneklerin kalite özellikleri iyileştirilmiş, geleneksel pişirmeye kıyasla pişirme süresi kısaltılmış ve işlemin enerji verimliliği yükseltilmiştir (Yıldız-Turp vd., 2016). Et kalitesi üzerine birçok çalışma bulunmasına rağmen enerji tüketimi araştırılması gereken temel başlıklardan biridir. Mevcut pişirme uygulamalarının iyileştirilmesi veya yeni pişirme stratejilerinin araştırılması, et işleme endüstrisi için önemlidir (Pathare ve Roskilly, 2016).

2.4. Gıdaların Soğutulması

Bütün gıda muhafaza tekniklerinin amacı, gıdanın kalitesi ve sağlığa faydalı niteliklerinin bozulmasına neden olan süreçleri yavaşlatmaktır. Bu süreçler, buharlaşma ile su kaybı veya doku kaybı gibi fiziksel süreçler, enzimatik bozulma gibi biyokimyasal süreçler veya mikrobiyal gelişme ve çoğalmanın yaşandığı süreçler olabilir (Anar, 2012; Tuan Pham, 2015). Gıdaların muhafazası sıcaklık, nem ve oksijen gibi çevresel koşulların kontrolü ile enzimlerin veya zararlı mikroorganizmaların inaktivasyonu, gelişimleri ve aktivitelerinin yavaşlatılması gibi süreçleri içermektedir. Geleneksel gıda muhafaza yöntemleri arasında yer alan soğutmanın gıdalarda fiziksel ve kimyasal değişikliklere kısmen az neden oluşu ile genellikle taze ve yüksek değerli gıdaların eldesinde tercih edilen bir yöntem olduğu bilinmektedir. Soğutma, mikroorganizmaları ortadan kaldırmadığından, en iyi sonuçların eldesinde çevresel koşulların kontrolü de önemlidir. Bu nedenle, soğutma teknolojisi sadece gıdanın soğutma ve dondurulma prosesi ile ilgilenmekle kalmayıp, aynı zamanda soğukta muhafaza ve taşıma, perakende satış ve evsel muhafazası ile de ilgilidir (Dong vd., 2012; Anar, 2012; Tuan Pham, 2015).

Gıdalara uygulanan soğutma işleminin birincil amacı, gıda kalitesi ve güvenliğini korumaktır. Ürün kalite faktörleri arasında görsel özellikler, tekstür, lezzet ve besin

içeriği bulunmaktadır. Gıdalarda gerçekleşen bozulmaların hızı, soğutma hızı ve son ürün sıcaklığı ile birlikte ön işlem ve ambalajlama gibi ısıl olmayan faktörlere bağlıdır (Tuan Pham, 1987; Sun, 2014). Hava kullanımı ile gerçekleştirilen soğutma ve dondurma işlemlerinde gıdadan nem kaybı önemli bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Nem kaybı, tekstürel ve duyuşsal özelliklerdeki kayıplarla beraber, özellikle sebze ve meyvelerde sululuk kaybına neden olabilmektedir (Tuan Pham, 1987; Tuan Pham, 2015).

Gıda ürünlerinin bozulmasına sebep olan etmenler çoğu zaman sıcaklıkla güçlü bir ilişki göstermektedir. Bu nedenle, raf ömrünü uzatmak için gıdaların mümkün olan en kısa sürede soğutulması arzu edilmektedir (Desmond vd., 2000; Feng vd., 2012). Sıvı gıdalar ve içecekler, ısı değiştiricilerde soğutulmakta ve ısıtılmaktadır. Plakalı ısı değiştiriciler, yüksek ısı transfer katsayıları ve plakaların hızlı bir şekilde çıkarılabilip temizlenebilmesi gibi özellikleri sayesinde gıda endüstrisinde soğutma amacıyla en yaygın kullanılan ekipmanlardır. Yoğurt, soslar ve dondurma gibi viskoz sıvılar, kazıyıcı yüzeyli ısı değiştiricilerde soğutulabilmekte veya kısmen dondurulabilmektedir (Tuan Pham, 2015). Özellikle yığın halindeki gıdaların pek çoğu durgun veya yarı durgun havada soğutulabilmekte veya dondurulabilmekte, ısı transferi çoğunlukla doğal konveksiyon ve ışıma ile gerçekleşmektedir (Tuan Pham, 2015; Sun, 2014). Temaslı soğutucu ve dondurucular da gıdaların soğutulmasında kullanılan ekipmanlardan olup bu ekipmanlarla soğutma sırasında düzgün bir geometriye ve yüzeye sahip gıda materyalinin (köfte ve balık filetoları gibi) bir veya her iki yüzü soğuk bir yüzeye temas halindedir. Düzensiz şekilli et ve et ürünleri için hızlı soğutma, katı maddenin soğuk bir sıvıya daldırıldığı daldırılmalı tip soğutucu ve dondurucularda gerçekleştirilebilmektedir (Tuan Pham, 2015).

Soğutma et hijyeni ve güvenliği, raf ömrü, görünümü ve yeme kalitesi açısından kritik öneme sahiptir. Gıda ürünlerinin mümkün olan en kısa sürede soğutulmasını sağlayan ve en yaygın kullanılan hızlı soğutma yöntemleri hava üflemlili soğutma, hidro soğutma ve vakum soğutma yöntemleridir (Chen, 1988). Bunlar arasında, hidro soğutma muhtemelen en ucuz olanıdır ve soğutulacak ürün soğuk suya batırılmakta veya püskürtmeye tabi tutulmaktadır. Hava üflemlili soğutucu ve dondurucularda ise soğutma ürünün etrafına yüksek hızda (genellikle 1,0- 5,0 m/s) hava üflenerek gerçekleştirilmekte, bu sayede durgun havaya göre daha yüksek ısı transfer katsayıları sağlanmaktadır (Tuan Pham, 2015). Hava hareketinin fanlarla birleştirildiği zorlamalı konveksiyon ile hava üflemlili soğutma, ürün merkezinden dış yüzeyine iletkenlik yoluyla ısı transferini, ardından dış yüzeyden havaya konveksiyon yoluyla ısı transferini içermektedir (Chen,

1988). Hava üfleli soğutma karkas yüzey sıcaklığını düşürmekte ve karkas yüzeyinin kurumasını sağlamakta, bu iki kombine etki mikrobiyal çoğalmayı azaltmaktadır. Hava hızındaki bir artış ve/veya sıcaklıktaki düşüş kontrol edilerek soğutma süresi azaltılabilmektedir. Ancak, ısının karkasın iç bölgelerinden hızlı şekilde uzaklaştırılması güç olduğundan bu durum yöntem için sınırlayıcı bir faktördür (Cheng ve Sun, 2006; Jin ve Xu, 2006; Zhou vd., 2010).

2.5. Vakum Soğutma

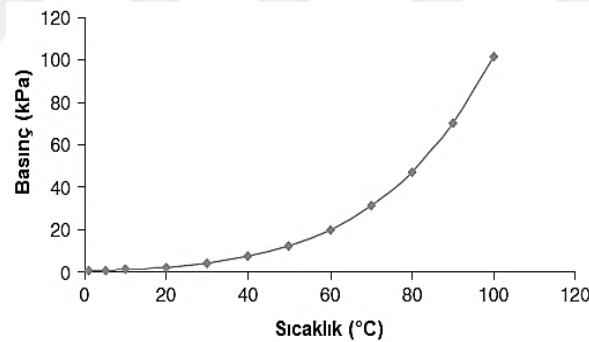
Gıdaların soğutulmasında yeni teknolojiler arasında yer alan vakum soğutma, gıdada yer alan suyun bir kısmının vakum koşulları altında buharlaşması yoluyla gerçekleştirilmekte, yüksek kaliteli gıda eldesinde geniş bir ürün yelpazesi için kullanılmaktadır. Yöntem, düşük enerji tüketimi ve son derece hızlı gerçekleşen soğutma işlemi sayesinde yaygın olarak uygulanmaktadır (Feng vd., 2012). Bu teknik, vakum odasında ortam basıncının düşürülmesi ile içerisindeki suyun buharlaştırılması ve numuneden ısı çekilerek soğutulmasını içermektedir (Suslow, 2000; Dinçer, 2003). Yöntemde ürün vakum odasına yerleştirilmekte düşük buhar basıncının uygulanması ile suyun buharlaşması sağlanmakta, bu da gizli ısıyı absorbe ederek ürünün sıcaklığını düşürmektedir (Sun ve Wang, 2001). Diğer soğutma tekniklerinden en önemli farklılığı, soğumanın gıda maddesi içerisindeki suyun buharlaşması vasıtasıyla sağlanması ve geleneksel soğutma yöntemlerine kıyasla hızlı bir soğutma yöntemi oluşudur. Marul ve mantar gibi yapraklı veya gözenekli ürünlerde su kaybı ürünün tamamında gerçekleşmekte, böylelikle ürünün geleneksel soğutma yöntemlerine kıyasla hedef merkez noktasına çok daha hızlı bir şekilde soğuması sağlanmaktadır (Drummond vd., 2015; Tuan Pham, 2015).

Vakum soğutmanın avantajları arasında kısa işlem süresi, ürünün raf ömrünün uzatılması, ürün kalitesinin ve güvenliğinin artırılması bulunmaktadır. Bu nedenle, gıda üreticileri ve araştırmacılar arasında popülerliği artmaktadır. Vakum soğutmanın önemli özelliklerinden biri, geleneksel soğutma yöntemleri ile karşılaştırıldığında ürünün hızlıca soğutulabilmesidir (Drummond vd., 2015). Yöntem başlarda hasat sonrası yapraklı sebzelerin raf ömrünü uzatmak için kullanılmış, son elli yıla yakındır gıda endüstrisinin fırıncılık, balıkçılık, soslar ve parçacıklı gıdaların işlenmesi gibi diğer sektörlerinde veya belirli bir gıda grubu için farklı gıda işleme teknikleri ile kombine kullanımı ile uygulama alanı bulmuştur (Jackman vd., 2007; Wang ve Sun, 2001; Cheng ve Sun, 2006; Bhattacharya, 2014; Güler Dal vd., 2021). Gıda endüstrisindeki son trendler pişirilmiş

etler ve tüketime hazır gıdalar gibi bazı ürünlerin işleme prosedürlerine vakum soğutmanın entegre edilmesine artan bir ilgi olduğunu göstermektedir (McDonald ve Sun, 2000; Drummond vd., 2015). Vakum soğutmanın tüketime hazır gıda ürünlerinin işleme prosedürlerine entegre edilmesi bu teknolojinin uygulama alanını genişletmiştir. Bu, tüketicilerin güvenli ve yüksek kaliteli ürün taleplerinin karşılanması yanı sıra gıda endüstrisinin güvenlik prosedürlerine uygun hızlı soğutma yöntemlerine olan taleplerini karşılamak ve işlem sürelerini kısaltmak amacıyla gerçekleştirilmektedir (Drummond vd., 2015).

2.5.1. Vakum Soğutmanın Yöntemi, Prensipleri ve Ekipmanı

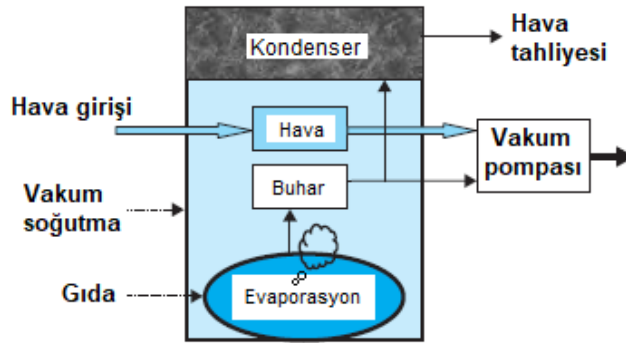
Sıvının buharlaşmaya başladığı sıcaklık sıvı doyma sıcaklığı olarak adlandırılmaktadır. Bu değer ortamın buhar basıncına bağlı olarak değişmektedir. Şekil 2.2, suyun doyma sıcaklığı ve basınç ilişkisini göstermektedir. Bu diyagramdan, 1 atm (101 kPa) basınçta suyun 100°C’de kaynadığı görülmektedir. Uygulanan basıncın azaltılması, suyun daha düşük bir sıcaklıkta buharlaşmasına neden olmaktadır (Zheng ve Sun, 2005; Drummond vd., 2015).



Şekil 2.2. Suyun doyma sıcaklığı ve basıncı arasındaki ilişki (Drummond vd., 2015)

Yöntemin prensibinden bahsedilecek olursa, kapalı bir sistemde bulunan herhangi bir gıda ürünü içerisinde serbest su bulunması durumunda vakum pompası aracılığıyla basınç azaltıldığında, üründeki su ile çevredeki havanın buhar basıncı farkı suyun buharlaşmasına ve buharın sistemden uzaklaşmasını sağlamaktadır (Şekil 2.3). Ürün kapalı bir sistemde olduğundan buharlaşma için gerekli gizli ısı, ısı dönüşümü yoluyla gıdanın kendisinden sağlanmaktadır. Sistemde vakum odasının kapatılması ve vakum pompasının açılmasının ardından içerideki hava tahliye edilmekte ve vakum odasındaki basınç azalmaya başlamaktadır. Basınç doyma basıncına eriştiğinde üründeki su

olmalıdır (Drummond vd., 2015).



Şekil 2.3. Vakum soğutma işlemi sırasında hava ve buharın hareketi (Zheng ve Sun (2005)'ten uyarlanmıştır).

Numunenin hacmi ve buharlaşmanın sağlandığı yüzey alanının ürünün ağırlığına oranı vakum soğutma işleminin verimliliğinin tespitinde önemli parametrelerdir (Wang ve Sun, 2001; Jin ve Xu, 2006). Şekil 2.3'te de gösterildiği üzere laboratuvar ve ticari operasyonlar için vakum soğutma sistemi temel hatları ile vakum işlemini sağlayan vakum pompası, gıda numunesinin konulduğu sızdırmaz bir vakum odası ve yoğunlaştırucudan oluşmaktadır (Schmidth vd., 2010). Sistemin temel bileşeni odanın basıncını azaltmak ve vakum oluşturmak için kullanılan vakum pompasıdır (Drummond vd., 2015). Sistemde odanın basıncının, daha yüksek basınçlarda vakum pompası sadece havayı tahliye edeceğinden ve herhangi bir soğutma gerçekleşmeyeceğinden, en kısa sürede hedef basınç değerine indirilmesi gerekmektedir. Buhar vakum pompası tarafından sürekli olarak çekildiğinde ve/veya sisteme bir kondenser yerleştirilip buhar

yoğunlaşma yoluyla uzaklaştırıldığında basınç doyma basıncının altına indirilmektedir. Bu, suyun buharlaşmasının sürekliliğini teşvik etmekte ve böylece soğutma süreci devam etmektedir. Ürün sıcaklığı istenen sıcaklık seviyesine ulaştığında soğutma sona ermekte, daha sonra tahliye valfi açılarak havanın vakum odasına tekrar girişi sağlanmaktadır (Bhattacharya vd., 2014; Drummond vd., 2015). Sistemde ayrıca sıcaklık göstergesi ve basınç/sıcaklık kontrolü için portlar da yer almaktadır. Kontrol ekipmanları, belirlenen bir sıcaklığa ulaşıldığında pompa sisteminin kapatılmasını ve valfin çalışmasını sağlamaktadır (Drummond vd., 2015; Zheng ve Sun, 2005).

Vakum soğutma esnasında kütle transferi genel olarak iki aşamada gerçekleşmektedir. Bunlar başlangıçta ürün yüzeyinde veya içinde makro gözeneklerde gerçekleşen suyun buharlaşma aşaması ve ardından su buharının gözenekli yapılar boyunca ürün yüzeyine ve sonrasında ürünü çevreleyen atmosfere difüzyonu şeklinde devam ettiği aşamadır (Wang ve Sun, 2002b). Bu nedenle vakum soğutma, ürünün gözenekliliği ve gözenek dağılımına büyük ölçüde bağlı olup gözenekliliğin yüksek oluşu ve homojen gözenek dağılımı daha hızlı ve homojen soğutulmasını sağlamaktadır. Genellikle, homojen gözenek dağılımına sahip ürün homojen bir iç sıcaklık dağılımına sahip olurken, gözeneklerin eşit olmadığı alanlar veya düşük gözenekliliğe sahip alanlar daha düşük sıcaklığa sahip olmaktadır (Wang ve Sun, 2002c; Drummond vd., 2015). Sadece ürünün kendisi değil, aynı zamanda vakum odası basıncı ve kondenser sıcaklığı gibi vakum soğutma ortamı koşulları da vakum soğutma hızını etkilemektedir (Wang ve Sun, 2002c).

2.5.2. Vakum Soğutma Sisteminin Avantaj ve Dezavantajları

Vakum soğutmanın en önemli avantajı, ürün sıcaklığının son derece kısa bir sürede azaltılabilmesidir (Zheng ve Sun, 2005). Yüksek hız, ürünü soğutma ortamında tutma süresinin azaltılması ve dolayısıyla soğutma ve gıda işleme verimliliğinin artırılması açısından önemlidir. Sistemdeki oldukça yüksek soğutma hızları; artan üretim kapasitesi, azaltılmış enerji tüketimi ve mikrobiyal gelişme riskini düşürmesi gibi diğer bazı avantajları beraberinde getirmektedir (Wang ve Sun, 2002c; Drummond vd., 2015). Mutlu Ozturk (2017) vakum soğutmanın köftelerde uygulandığı bir çalışmada soğutma süresinin geleneksel soğutma süresine göre 5 kat daha kısa olduğunu rapor etmiştir. Hava üfleli soğutma ve soğukta depolama için soğutma hızı, hava sıcaklığının düşürülmesi veya hızının yükseltilmesiyle artırılabilen ancak her iki yöntemde de

üründe donma riski veya hava üflenmesine bağlı üründe hasarlanma riski oluşabilmektedir. Ürünün ağırlığı, boyutu ve şekli, vakum soğutma hızı üzerinde önemsiz bir etkiye sahiptir ve bu da vakum soğutmanın geleneksel yöntemlere göre avantajlarından biridir (Wang ve Sun, 2002c; Sun ve Wang, 2003; Drummond vd., 2015). Ayrıca, mikrobiyal kontaminasyon ancak soğutma sürecinin sonunda hava kabin içine girdiğinde meydana gelebildiğinden vakum soğutma ürünün raf ömrünü uzatmada etkili olmaktadır (Zheng ve Sun, 2005).

Ürün kalitesi, şekli ve tekstürel özellikleri açısından pişirilmiş ürünler vakum soğutma ile hava üfleli soğutmaya kıyasla üstün özelliklere, daha homojen bir iç sıcaklığa ve nem dağılımına sahip olmaktadır (Wang ve Sun, 2001). Vakum soğutma işleminde, geleneksel soğutma yöntemlerinden farklı olarak, ürün içinde ve yüzeyinde aynı anda su buharlaştığından ürünün daha homojen bir iç sıcaklık dağılımına sahip olduğu bildirilmektedir. Vakum soğutmayla gıdanın tüm bölgelerinde aynı soğutma hızı sağlanabilmekte, dolayısıyla özellikle büyük boyutlu ürünler için, vakum soğutma ile yüzey ve merkez arasındaki sıcaklık farkı, geleneksel soğutmaya kıyasla düşük olmaktadır. Homojen sıcaklık dağılımı üründe daha az büzülme ve çökme ile daha üstün bir tekstürel kalite sağlamaktadır (McDonald ve Sun, 2000; Wang ve Sun, 2001). Vakum soğutma işlemi sırasında ürün sıcaklığı mutlak basıncın ayarlanması ile kontrol altında tutulabilmektedir. Vakum soğutma sırasında sıcaklığın hızla düşmesi ile mikroorganizmalara soğuk şok uygulanması, yine soğutulmuş ürünlerin geleneksel soğutmaya kıyasla belirgin ve daha düşük su aktivitesine sahip oluşu yöntemdeki düşük mikroorganizma gelişimini açıklayabilmektedir (McDonald vd., 2000). Vakum soğutma tekniğinin bir diğer özelliği de pişirme işlemi ile entegre edilebilme potansiyelidir. Bu durumda aynı ünite, pişirilen ürünü başka kap veya sisteme aktarmaya gerek kalmadan her iki işlem için de kullanılma potansiyeli taşımaktadır (McDonald ve Sun, 2000; Schmidt vd., 2010).

Vakum soğutmanın yukarıda belirtilen olumlu etkilerine karşın bazı olumsuz etkileri de bulunmaktadır. Yöntemde soğutma kayıpları (ağırlık) yüksektir ve 72-4°C arasındaki kritik aralıktaki sıcaklık düşüşü için yaklaşık olarak orijinal ağırlığın %10'u civarındadır (Desmond vd., 2000; McDonald vd., 2001; McDonald vd., 2000; Sun ve Wang, 2000). Bu değer durgun havada soğutma için yaklaşık %6, hava üfleli soğutma için yaklaşık %5 ve daldırılmalı soğutma için %2'den az kayıplara denk gelmektedir (Desmond vd., 2000; McDonald vd., 2001; Sun ve Wang, 2000). Bahsedilen yüksek su kaybı vakum soğutmanın diğer soğutma yöntemlerine göre daha düşük verim sağlamasına sebep

olmaktadır ve bu da gıda üreticilerinin talep etmediği bir durumdur. Su kaybını telafi etmek için soğutmadan önce ürünlerin nemlendirilmesi ve vakum odası içine su püskürtücülerinin yerleştirilmesi gibi çeşitli yöntemler önerilmektedir (Thompson, 1996). Yöntem, yalnızca nemli ve gözenekli yapıdaki ürünlere uygulanabilmesi, ürün kalitesinde bozulmaya neden olmayacak kadar nem kaybının tolere edilebilmesi nedeniyle her gıda ürününe uygulanamamakta, bu da vakum soğutmanın dezavantajları arasında sayılmaktadır (McDonald ve Sun, 2000; Wang ve Sun, 2001). Ayrıca vakum soğutma tekniği, ürün özelinde bazı uçucu aromatik bileşenlerin kaybına yol açabilmektedir (Drummond vd., 2015).

2.5.3. Vakum Soğutmanın Gıda Uygulamaları

Gıda ürünleri gözenekli yapıya sahip olması ve ürün kalite özelliklerinin su kaybını tolere edebilmesi koşuluyla vakum soğutulabilmektedir. Vakum soğutma bu koşulları sağlayan birçok ürünün soğutulması için etkili bir uygulama potansiyeline sahip ticari bir yöntemdir. Ayrıca, yüksek viskoziteye ve düşük termal iletkenliğe sahip soslar, marinatlar, meyve konsantreleri gibi viskoz ve parçacıklı gıda ürünlerinin soğutulması için de uygulama alanına sahiptir. Son yıllarda, artan rekabet ve güvenlik endişeleri sonucu pişirilmiş et parçalarının ve tüketime hazır gıdaların vakum soğutulması üzerine kapsamlı bir araştırma çalışması yürütülmüş, sonuçlar yöntemin umut verici ve faydalı sonuçlar sağlayabileceğini göstermiştir (Drummond vd., 2015).

Soslar, çorbalar, et karışımları ve meyve konsantreleri gibi pek çok viskoz gıda ürünü ve bileşenini yüksek viskoziteleri ve düşük ısı iletkenlikten kaynaklanan yüksek ısı transfer direnci nedeniyle soğutmak zordur. Ancak bu durum soğutma etkisinin iletimle veya konvektif ısı transferi yerine çoğunlukla buharlaşma yoluyla elde edildiği vakum soğutma ile aşılabilmektedir (Drummond vd., 2015). Tüketime hazır gıdaların vakum soğutulması, son derece hızlı soğutma hızları nedeniyle sektörün büyüyen ilgisini kazanmıştır. Bunun yanı sıra vakum soğutma tüketime hazır gıdalar için hızlı bir soğutma oluşu, vitamin ve faydalı bileşen kaybının azaltılması, yüksek ürün kalitesinin korunmasına yardımcı oluşu, bazı ısıya hassas ürünlerin fazla pişirilmesinin önlenmesine katkısı gibi avantajlar sağlayabilmektedir (Ketteringham ve James, 2000; Drummond vd., 2015).

2.5.4. Vakum Soğutmanın Et ve Et Ürünlerinde Kullanımı

Literatür çalışmaları incelendiğinde vakum soğutma işleminden elde edilen oldukça yüksek soğutma hızları ile et ürünlerinde kullanımının pek çok avantaja sahip olduğu belirtilmektedir (Desmond vd., 2000; McDonald vd., 2001; Sun ve Wang, 2000; Jin ve Xu, 2006; Schmidt vd., 2010; Feng vd., 2012; Mutlu Ozturk vd., 2017; Güler Dal vd., 2021). Hızlı soğuma, suyun yalnızca et yüzeyinden değil, aynı zamanda açık makro porlardan da buharlaşması ile açıklanmıştır. Etin nem içeriği, başlangıç sıcaklığı, gözenekliliği ve gözenek dağılımının bu süreçte önemli parametreler olduğu belirtilmiştir (Desmond vd., 2000; McDonald vd., 2001; Sun ve Wang, 2000). Vakum soğutma ile alakalı yapılan çalışmalar incelendiğinde, domuz etinin vakum soğutma işleminde soğuma hızının başlangıçta oldukça yüksek olduğu ve ilk 4-5 dakikada sıcaklığın 63°C'den 10°C'ye düşürülebildiği bildirilmiştir (Jin ve Xu, 2006). Güler Dal vd. (2021) pişmiş tavuk göğsü numunelerinin merkez sıcaklığının 85°C'den 12,5°C'ye düşürülmesi için gerekli vakum soğutma süresininin (15 mbar) 12,7-20,1 dakika arasında olduğunu saptamıştır. Mutlu Ozturk vd. (2017), köftenin soğutulması için vakum soğutma ve geleneksel soğutma tekniklerini karşılaştırdıkları, vakum basıncının soğuma süresi, sıcaklık düşüşü ve mikrobiyal çoğalma hızı üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmalarında vakum soğutmanın (0,7, 1,0 ve 1,5 kPa) geleneksel soğutmaya kıyasla 5 kat daha hızlı gerçekleştiğini saptamışlardır. Vakum soğutma işleminde görülen mikrobiyal çoğalma hızının, geleneksel soğutma ile karşılaştırıldığında oldukça düşük olduğu, en düşük mikrobiyal gelişimin 0,7 kPa'da elde edildiği ve vakum soğutmanın köftelerin soğutulmasında etkili bir yöntem olduğu belirtilmiştir.

McDonald vd. (2000) tarafından yapılan bir çalışmada vakum altında soğutulan pişirilmiş bifteğin geleneksel soğutma yöntemleriyle soğutulanlardan önemli ölçüde daha düşük parlaklık (L^*) değerine sahip olduğu bulunmuş; bu durum su ve havanın dokudan uzaklaştırılması, yüzey pigment yoğunluğunun ve renk pigmentlerini de içeren çözünen bileşenlerin yüzeye göç edişi ile hipokromik etkinin artırılabilmesi ile açıklanmıştır. Duyusal analiz sonuçlarına göre panelistlerin daha doğal ve yoğun bir tat için vakum altında soğutulan pişmiş bifteği tercih ettikleri belirlenmiştir. Bir başka çalışmada (McDonald, 2001) ise vakum soğutulan etlerde mikrobiyolojik kalitenin soğutmanın hemen sonrasında ve depolama sırasında diğer soğutma yöntemlerine göre daha üstün olduğu bildirilmiştir. Desmond vd. (2000) pişmiş büyük jambon parçalarının soğutma hızı, ağırlık kaybı ve kalitesi üzerindeki etkilerini değerlendirmek için vakum soğutma,

hızlı hava üfleme ve yavaş soğutma olmak üzere üç farklı soğutma işlemini karşılaştırmış, çalışmada vakum soğutma diğer yöntemlere kıyasla soğutma hızını önemli ölçüde artırmıştır. Ancak, vakum soğutmada soğutma kaybı buharlaşma nedeniyle yaklaşık %11 artmış, diğer yöntemler ile (yaklaşık %3-4) arasındaki fark önemli bulunmuştur. Duyusal analiz, vakum soğutma işlemi uygulanan jambonların daha sert ve daha az sulu olduğunu göstermiştir. Cavalheiro vd. (2013)'nin midye örnekleri ile gerçekleştirdiği çalışmada, soğutma süreleri vakum pişirme-vakum soğutma ile 12,1 dakika, vakum pişirme daldırarak soğutma için 10,3 dakika ve daldırarak pişirme-daldırmalı vakum soğutma için 64,2 dakika olarak bulunmuş, vakum pişirme-vakum soğutma işlemi ile yüksek mikrobiyal kalite ve soğutma kaybı elde edilmiştir. Tüm bu çalışmalar, et ve et ürünleri veya tüketime hazır et temelli gıdalar için alternatif bir soğutma uygulaması olarak vakum soğutma tekniğine olan yönelimi göstermektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu tez çalışmasında materyal olarak, tüketiciler tarafından yaygın olarak tercih edilen köftelerin üretiminde tavuk göğüs eti ile sığır eti kullanılmıştır. Taze tavuk göğüs eti, sığır eti ve iç yağ Burdur ilindeki yerel bir işletmeden (Çelikoğlu Gıda San. ve Tic. Ltd. Şti., Burdur) günlük olarak satın alınmış, soğuk zincir korunarak laboratuvara getirilmiştir.

Tiyobarbitürik asit reaktif maddeleri (TBARS) analizinde kullanılan kimyasallardan trikloroasetik asit (TCA) Isolab (Eschau, Almanya), tiyobarbitürik asit (TBA) Merck (Darmstadt, Almanya)'ten; hidroklorik asit (HCl), nitrik asit (HNO₃) ve mikrobiyolojik analizlerde kullanılan sodyum klorür (NaCl) Sigma-Aldrich (Missouri, ABD), Plate Count Agar (PCA) ve Potato Dextrose Agar (PDA) besiyerleri Merck (Darmstadt, Almanya)'dan temin edilmiştir.

3.2. Yöntem

Taze tavuk göğüs ve sığır etlerinin yüzeyindeki yağ ve sinir dokuları dikkatli bir şekilde uzaklaştırılmış ve ardından belli ağırlıktaki porsiyonlar halinde vakum paketlenerek ön pişirme işlemine kadar -18°C'de depolanmıştır. Tavuk ve sığır eti örnekleri, delik çapı 5 mm olan ayna kullanılmak suretiyle kıyma makinesi (BKK 2184, Beko, İstanbul) ile kıyma haline getirilmiştir. Yağ dağılımının köftelerde homojen olması amacıyla, -18°C sıcaklıkta yaklaşık 5 dakika soğutulan iç yağ 3 mm delik çapına sahip rende kullanılarak ince öğütülerek kullanılmıştır. Tavuk ve sığır etinden üretilen köfteler için optimum elektriksel iletkenlik değerinin belirlenmesinin ardından bileşenler (yağsız kıyma, yağ ve tuz) karıştırılıp iyonik bileşenlerin köfte hamuru içerisinde homojen dağılımını sağlamak amacıyla oda sıcaklığında yaklaşık 5 dakika el ile yoğurulmuş ve porsiyonlara (500 g) ayrılmıştır (Icier vd., 2014). Ardından köfte hamurları, kalıp kullanılmak suretiyle kalınlığı 20±1 mm ve çapı 40±2 mm olacak şekilde silindirler halinde (~40 g) şekillendirilmiş, pişirme işlemine kadar dış ortam ile teması kesilecek şekilde steril plastik saklama kaplarında 4±1°C'de muhafaza edilmiştir. Tez çalışmasının ilerleyen kısımlarda tavuk etinden üretilen köfteler için “tavuk köfte”, sığır etinden üretilen köfteler için ise “sığır köfte” ifadeleri kullanılmıştır.

Yapılan bir literatür çalışmasında (Bozkurt ve Icier, 2010) yağ içeriğindeki değişimin (%2, 9 ve 15) köfte örneklerinin elektriksel iletkenliğindeki değişiklik

dolayısıyla ohmik pişirme işleminin süresini etkilediği; yağ içeriğindeki artış ile ohmik pişirme işleminin süresinin arttığı belirtilmiştir. Ohmik işleme esnasında domuz eti parçalarının elektriksel iletkenliklerinin belirlendiği bir başka çalışmada (Shirsat vd, 2004e), yağ ilavesinin etin iletkenliğini azalttığı saptanmıştır. Yağ ve tuz içeriklerinin elektriksel iletkenlik ve dolayısıyla ohmik ısıtma işlemine etkisinin incelendiği literatür çalışmalarından yola çıkılarak ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminde daha yüksek performans sağlanması amacıyla köfte örneklerinin yağ ve tuz içerikleri, yüksek elektriksel iletkenlik değerleri sağlayacak şekilde optimize edilmiştir.

3.2.1. Elektriksel İletkenlik Değerlerinin Belirlenmesi

Elektriksel iletkenlik değerlerinin ölçümünde Ye vd. (2021) tarafından belirtilen yöntem modifiye edilerek kullanılmıştır. Bu amaçla 5 g köfte örneği bir beher içerisine tartılarak 45 mL distile su ile karıştırılmış ardından homojenizer (HG-15D, WiseTis, Daihan Scientific Co. Ltd., Gang-Won-Do, Güney Kore) kullanılarak oda sıcaklığında 9500 rpm'de 2 dakika homojenize edilmiştir. Homojenize edilen karışım ardından Falcon® tüplerine aktararak soğutmalı santrifüjde (NF 800R, Nüve, Ankara, Türkiye) 10°C sıcaklıkta 7000 rpm'de 15 dakika santrifüj edilmiştir. Santrifüj işleminin ardından Falcon® tüpü içerisinde bulunan süpernatant (yağlı faz) uzaklaştırılmış, ara fazdan 20 mL behere aktarılarak iletkenlik ölçer (EC850, Apera Instruments, Columbus, OH, ABD) ile iletkenlik değerleri 20±2°C sıcaklıkta belirlenmiştir.

3.2.2. Elektriksel İletkenliğin Optimizasyonu

Ohmik ısıtma hızı gıdaların elektriksel iletkenliklerine önemli ölçüde bağlıdır. Ohmik ısıtma işleminde üründeki tuz miktarının artması hareketli iyonların miktarını arttırdığından elektriksel iletkenliği ve bu sayede ohmik ısıtma hızını artırabileceği bilinmektedir (Lyng vd., 2019). Yine yağ içeriğindeki artışın iletkenlikte azalmaya neden olabileceği bilindiğinden, yağ ve tuz içeriğinin elektriksel iletkenlik değeri üzerine etkisinin saptanması amacıyla tuz ve yağ içeriği farklı köfte hamuru formülasyonları oluşturulmuştur. Formülasyonlar oluşturulmadan önce piyasada satılan ön pişirilmiş ve dondurulmuş köfte ürünlerinin (dana, dana&kuzu) bileşim değerleri saptanmış, tuz içeriğinin %1,1-2,0 ve yağ içeriğinin %10,8-25,0 aralığında değiştiği belirlenmiştir. Türk Gıda Kodeksi Et, Hazırlanmış Et Karışımları ve Et Ürünleri Tebliği'nde (Tebliğ No: 2018/52) yer alan çiğ kanatlı eti, kanatlı kıyma ve hazırlanmış kanatlı eti karışımları özel ürün özellikleri arasındaki Madde 8(1)'de "Hazırlanmış kanatlı eti karışımlarında yağ

miktarı kütlece en çok %20 olur.” ifadesi yer almaktadır. Bu değer, hazırlanmış kırmızı et karışımları için ise kütlece en çok %25 olarak belirtilmiştir. Tebliğ verileri ve piyasa araştırması sonucunda tez çalışması kapsamında üretilecek köftelerin yağ içeriği %10-25 aralığında, tuz içeriği ise %1-2 aralığında belirlenmiş ve bu iki farklı değişkenin tavuk ve sığır köftelerin iletkenlik değeri (S/m) üzerine etkileri araştırılmıştır.

İletkenlik ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminde önemli olduğundan yüksek değerler arzulanmaktadır. Yağ ve tuz içeriği faktörlerinin bir fonksiyonu olarak iletkenlik değeri için optimum koşullar Design Expert programı (Design-Expert Software versiyon 7, Stat-Ease, Minneapolis, MN, ABD) Yüzey Yanıt Metodolojisi (Response Surface Methodology, RSM) kullanılarak saptanmıştır. RSM bir ürünü veya süreci geliştirmek, iyileştirmek ve optimize etmek için, yanıtlar ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi belirleyen deneysel bir tasarımıdır (Myers ve Montgomery, 2002). Deneysel tasarımda ise RSM yönteminin içerisinde yer alan Merkezi Karma (Kompozit) Tasarım (Central Composite Design, CCD) kullanılmıştır. RSM tasarımında kullanılacak bağımsız değişkenler Çizelge 3.1’de sunulmuş olup bağımlı değişken elektriksel iletkenlik değeridir. Bu amaçla faktör seviyeleri yağ içeriği için %10-25 arasında, tuz içeriği için ise %1-2 arasında seçilmiştir. Modelden elde edilen verilerin deneysel verilerle uyumluluğuna, model regresyon katsayısı (R^2), düzeltilmiş R^2 (Adjusted R^2), tahmin edilen R^2 (Predicted R^2) ve yeterli kesinlik (Adeq. Precision) değerleri göz önünde bulundurularak karar verilmiştir (Myers ve Montgomery, 2002).

Çizelge 3.2. Yüzey yanıt metodolojisi tasarımında kullanılan bağımsız değişkenlerin kodlanmış ve gerçek değerleri

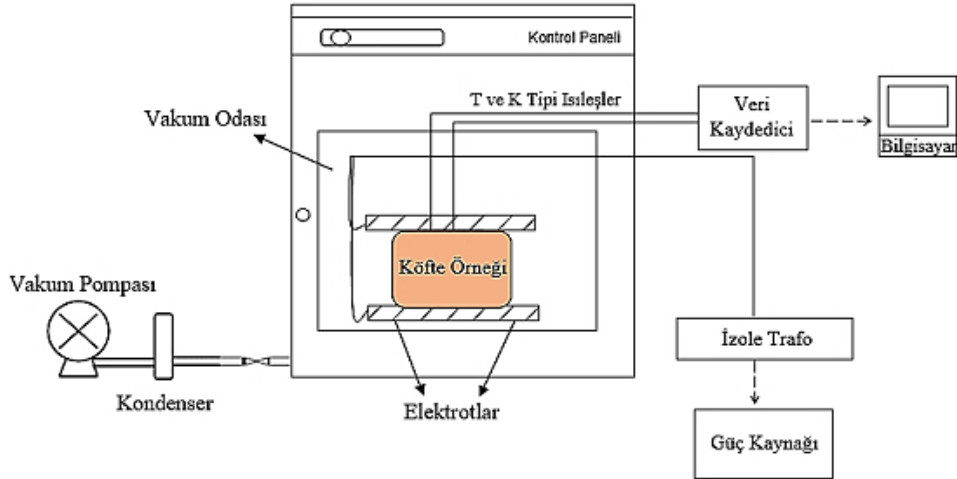
Bağımsız Değişken	Kodlanmış Faktör Seviyesi		
	-1,414	0	1,414
	Gerçek Değer		
Faktör A: Yağ İçeriği (%)	10,0	17,5	25,0
Faktör B: Tuz İçeriği (%)	1,0	1,5	2,0

3.2.3. Geleneksel Ön Pişirme

Geleneksel ön pişirme işleminde örnekler alüminyum folyo ile sarılarak zorlamalı konveksiyonel bir elektrikli fırın (MF 44, Arçelik, İstanbul, Türkiye) içerisinde $200\pm 10^\circ\text{C}$ ’de (turbo ayarında) orta rafta, merkez sıcaklığı 75°C ’ye ulaşana kadar pişirilmiştir. Pişirme işlemi esnasında ürünün merkez sıcaklığı dijital bir fırın termometresi (DT1004A, Cheerman Electronics Co., Ltd., Hong Kong, Çin) kullanılarak takip edilmiştir.

3.2.4. Ohmik Isıtma ile Ön Pişirme

Ohmik ısıtmalı ön pişirme düzeneği gerekli finansal ve teknik desteğin alınması sonrasında, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü Araştırma Laboratuvarı'na kurulmuştur. Vakum altında ohmik ısıtmalı ön pişirme ve vakum soğutma işlemlerinin gerçekleştirildiği entegre cihaz, ana hatları ile Şekil 3.1'de gösterildiği şekilde tasarlanmış ve hem ön pişirme hem de soğutma işlemlerinin entegre edilerek kullanımını içeren özgün bir sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Vakum altında ohmik ısıtmalı ön pişirme uygulamasında ön pişirme ünitesi, içerisine elektrik bağlantısının iletilmesini sağlayan, aynı zamanda vakum sızdırmayı önleyecek şekilde modifiye edilen vakumlu etüve (CLVO-27T, CLS Scientific, Ankara, Türkiye) entegre edilerek kullanılmıştır (Şekil 3.1). Kullanılan varyak (Reksan Enerji Regülatör Pano ve İnşaat San. Tic. Ltd. Şti., İstanbul, Türkiye) 220 V giriş voltajı, 0-250 V çıkış voltajı, 2000 W güç ve 50 Hz frekans değerlerine sahiptir. Vakum altında ohmik ısıtmalı ön pişirme uygulaması, 20-24 m³/saat pompalama hızı ve 0,75 kW motor gücüne sahip vakum pompası (MVP 24, Woosung Vacuum Co. Ltd, Jeju, Güney Kore) kullanılarak sabit vakum basıncı altında (600 mbar) örneklerin merkez sıcaklığı 75°C'ye ulaşana kadar gerçekleştirilmiştir. Sıcaklıklar özel olarak imal edilmiş elektrik izoleli ısıleş (Tetcis Ltd. Şti., Ankara, Türkiye) kullanılarak ölçülmüştür.



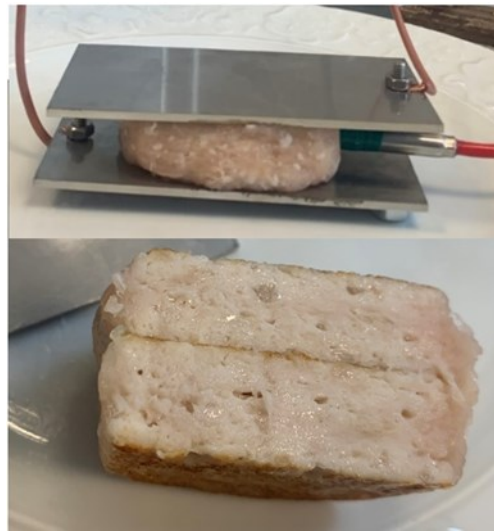
Şekil 3.1. Vakum altında ohmik ısıtmalı ön pişirme ve vakum soğutma entegre ünitesinin şematik gösterimi

Pişirme sıcaklığına (75°C) karşılık gelen doymuş buhar basıncı olan 380 mbar vakum basıncında gerçekleştirilen ön denemelerde, köftelerin merkez sıcaklığı 66°C'nin

üzerine çıkmamıştır. Vakum basıncı 600 mbar değerine ayarlandığında, 75°C sıcaklık değerine ulaşılabildiğinden dolayı vakum altında ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemi 600 mbar'da gerçekleştirilmiştir.

Voltaj gradyanı değerinin seçiminde, 20 V/cm üzerinde uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme denemelerinde merkez sıcaklığının hedeflenen sıcaklığa çok hızlı ulaşması nedeniyle köfteler homojen pişmez iken 10 V/cm voltaj gradyanı altındaki değerlerde ise örneklerin istenen merkez sıcaklığına ulaşamaması sebebiyle voltaj gradyanı 10 ve 20 V/cm arasında olacak şekilde belirlenmiştir. Ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemi uygulanacak silindirik şeklindeki köfte hamurlarına, ürün kalınlığı 2 cm olduğundan işlem sırasında 10, 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanı değerlerine karşılık gelen 20, 30 ve 40±2 V ısıtma uygulanmıştır.

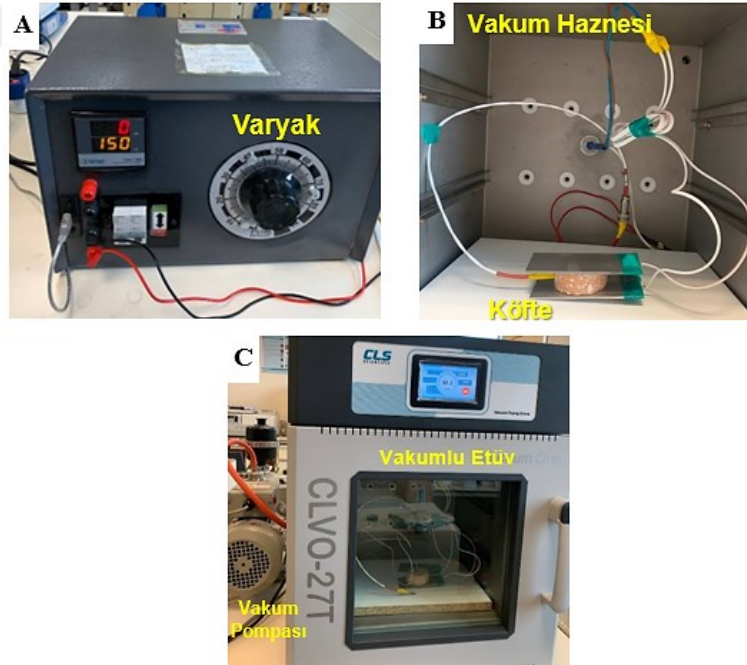
Ohmik ısıtma işlemi gıdanın içerisinden geçecek akımı sağlayan iki adet çıkarılabilir düz paslanmaz çelik (316) elektrot plaka (50x100x2 mm, genişlik x uzunluk x kalınlık) kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.2). Sistemdeki her iki elektrot elektrik güç kaynağına bağlanarak gıdaya elektrik iletimi için yüzeysel temas sağlamıştır. Ohmik ısıtmalı ön pişirme sırasında köftelerin merkez sıcaklığı sisteme entegre (elektrik izoleli) K tipi ısıleş (Tetcis Ltd. Şti., Ankara, Türkiye) kullanılarak tespit edilmiş, sıcaklıklar süreye karşı bilgisayara kaydedilmiştir. Sıcaklık ölçümleri, pişirme hücresindeki numunenin merkezinden bilgisayarda mevcut bulunan veri kayıt sistemi kullanılarak, soğutulan numunenin ise iki farklı bölümünden (geometrik merkez ve numune yüzeyi) ısıleşler (T tipi ve K tipi, Testo, Lenzkirch, Almanya) kullanılarak izlenmiştir.



Şekil 3.2. Ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminde tavuk eti köftenin paslanmaz çelik elektrotlar arasındaki görüntüsü ile pişmiş köftenin görüntüsü

3.2.5. Vakum Soğutma

Vakum soğutma işlemi, ohmik ısıtılmalı ön pişirme ünitesine entegre edilmiş pompa sistemi ile sabit bir basınç değerinde (10 ± 2 mbar) numunelerin merkez sıcaklığının 75°C 'den $10 \pm 1^\circ\text{C}$ 'ye ulaşması hedef alınarak gerçekleştirilmiştir. Atmosferik basınç altında ohmik ısıtma ile ön pişirme işlemindeki vakum soğutma uygulamasında, örneklerin hedef merkez nokta sıcaklığına ulaşılmasının hemen ardından pişirme işlemi sonlandırılarak vakum pompası çalıştırılmış ve soğutma işlemi başlatılmıştır. Vakum altında ohmik ısıtılmalı ön pişirme işlemindeki vakum soğutmada ise örnekler hedef merkez pişirme sıcaklığına ulaşır ulaşmaz ohmik ısıtmadaki alternatif akım kesilmiş ve vakum ortadan kaldırılarak köfte örneğinin üstünde yer alan plaka manuel olarak hızlıca (yaklaşık 10 s içerisinde) uzaklaştırılmıştır. Bunu takiben basınç 10 mbar değerine ayarlanarak vakum soğutma işlemi başlatılmıştır. Ön pişirme sonu ile vakum soğutma işleminin başlaması arasında geçen sürenin her iki yöntemde de en aza indirilmesi sağlanmıştır. Soğutma işlemi için, ön pişirme işlemi sonrasında üstteki elektrot köfteden uzaklaştırılmış ve evaporatif soğutma esnasında alt elektrot yüzeyi hariç, köftenin tüm yüzeylerinden buharlaşma gerçekleşmiştir.



Şekil 3.3. Ohmik ısıtılmalı ön pişirme ve vakum soğutma işlemlerine ait sistem elemanlarının görüntüsü (A: Varyak ünitesi, B: Vakum haznesi içerisinde köftelerin ohmik ısıtma ile ön pişirilmesi C: Vakumlu etüve entegre vakum pompası)

Vakum soğutma esnasında soğutma sıcaklıkları numunenin geometrik merkezi ve numune yüzeyine (yüzeyden ~2 mm derinlik) yerleştirilen ısıleşler tarafından 10 s aralıklarla kaydedilmiş sıcaklıklar ardından veri kaydedici (datalogger) (Testo 176 T3, Testo, Lenzkirch, Almanya) vasıtasıyla bilgisayara aktarılmıştır (Şekil 3.3). Pişirme hücresi ve çıkarılabilir elektrotlar, örnekler arasında temizleme çözeltisi ve bulaşık teli ile temizlendikten sonra kurutulmuştur.

Köftelere ait maksimum iletkenlik koşullarının belirlenmesinin ardından, optimum tuz ve yağ içeriğine sahip olacak şekilde hazırlanmış köftelere atmosferik basınç ve vakum basıncı altında ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemleri ile geleneksel ön pişirme işlemi uygulanmış ardından pişmiş köfteler vakum soğutulmuştur. İşlemler esnasında toplanan verilerden örneklere ait sıcaklık-süre grafikleri çizilmiş, pişirme süresi (dakika), soğuma süresi (dakika), pişirme ve soğutma kayıpları (%) saptanmıştır. Vakum soğutulan örnekler ayrı ayrı vakum paketlenerek analizleri gerçekleştirilinceye kadar +4°C'de 21 gün boyunca, -18°C'de ise 60 gün boyunca muhafaza edilmiştir. Vakum soğutulmuş köfte örneklerinin soğukta depolanma sürecinde 1., 7., 14. ve 21. günlerde, dondurularak depolanma sürecinde ise 30. ve 60. günlerinde depolama analizleri gerçekleştirilmiş; tüm örneklerin fizikokimyasal, duyuşal, tekstürel ve mikrobiyolojik bazı özellikleri belirlenmiştir. Dondurulmuş halde depolanan örnekler analizlerden bir gün öncesinde +4°C'deki buzdolabına alınarak çözündürülmüş; analizler oda sıcaklığına gelen örneklerde gerçekleştirilmiştir.

3.2.6. Pişirme ve Soğutma Süresi

Köfte örneklerinin merkez sıcaklığı tüm pişirme işlemleri boyunca merkezden ölçülmüş ve numunenin iç sıcaklığı 75°C'ye ulaştığında (Yucel Sengun vd., 2014; Icier vd., 2014) ön pişirme durdurularak geleneksel pişirme, atmosfer ve vakum basıncı altında ohmik ısıtmalı ön pişirme denemeleri için pişirme süreleri (dakika) tespit edilmiştir. Soğutma süreleri (dakika), köfte örneklerinin merkez sıcaklıklarının 75°C'den 10±1°C'ye ulaşması için gerekli olan süre olarak hesaplanmıştır.

3.2.7. Sıcaklık Dağılımı ile Homojenliğinin Ölçümü

Örneklerin vakum soğutma işlemleri sırasında merkez ve yüzey sıcaklık ölçümleri 10 s aralıklarla veri kaydedici (datalogger) (Testo 176 T3, Testo, Lenzkirch, Almanya) ve dataloggera bağlı T tipi ve K tipi ısıleşler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Örneklerin sıcaklık profilleri ise termal kamera (FLIR Systems OÜ, FLIR C2, Wilsonville, OR,

ABD) ile yüzey ve ardından ortadan ikiye kesilmesiyle kesit yüzeyi için belirlenmiş ve cihaza ait görüntü işleme programı kullanılarak sıcaklık homojenliği incelenmiştir.

Sıcaklık homojenliği, Bozkurt ve Icier (2010) ile Kor ve Icier (2016) tarafından belirtilen ve Denklem 3.1’de yer alan eşitlik kullanılarak ön pişirme işlemleri sonunda hesaplanmıştır.

$$\text{Sıcaklık homojenliği} = \frac{T_{\text{merkez}}}{T_{\text{yüzey}}} \quad (3.1)$$

Buradaki sıcaklık homojenliği ürün merkezi (T_{merkez}) ve yüzey ($T_{\text{yüzey}}$) sıcaklıklarını göz önüne almakta ancak ürün içindeki sıcaklık gradyanını göz ardı etmektedir. Aşağıda yer alan Denklem 3.2 de alternatif olarak kullanılmıştır. Bu denklemde ürünün termal görüntüsü üzerinde yer alan T_{maksimum} ve T_{minimum} sıcaklıkları arasındaki ortalama sıcaklığı (T_{ortalama}) da hesaba dahil etmektedir. T_{ortalama} ’nın maksimum veya minimum sıcaklara yakınlığı, sıcaklık homojenliği için önemlidir. Denklem 3.2 sayesinde köfte örneklerine ait termal kamera görüntülerinde gözlenen sıcaklık gradyanı homojenlik denklemine entegre edilebilmektedir.

$$\text{Oransal ortalama sıcaklık homojenliği} = \frac{T_{\text{ortalama}}}{T_{\text{maksimum}} - T_{\text{minimum}}} \quad (3.2)$$

3.2.8. Pişirme Kaybı

Köfte örneklerinin pişirme kaybı değerleri (%) pişirme öncesinde ve sonrasında hassas terazi (WL-3002L, Weightlab, İstanbul, Türkiye) ile ağırlık ölçümleri alınarak belirlenmiştir (Güler Dal vd., 2021). Pişirme kaybı değerinin eldesinde pişirme işlemi sonrasında çiğ örnek ağırlığına kıyasla oluşan ağırlık kaybı yüzde olarak hesaplanmış ve % pişirme kaybı olarak ifade edilmiştir.

3.2.9. Soğutma Kaybı

Köfte örneklerinin ohmik ısıtmalı ön pişirme ve vakum soğutma sonrası ağırlıkları hassas terazi kullanılarak ölçülmüştür. Soğutma işlemi sonrasında işlem öncesine kıyasla oluşan ağırlık kaybı yüzde olarak hesaplanmış ve % soğutma kaybı şeklinde ifade edilmiştir (Güler Dal vd., 2021).

3.2.10. ap Değişimi

ap değişimi (%), çiğ örnek çapı ($d_{çiğ}$) ile pişmiş örnek çapı ($d_{pişmiş}$) arasındaki farkın çiğ örnek çapına oranının belirlenmesiyle aşağıda yer alan Denklem 3.3 kullanılarak hesaplanmıştır (Serdaroğlu, 2005).

$$\text{ap Değişimi (\%)} = \frac{(d_{çiğ} - d_{pişmiş})}{d_{çiğ}} \times 100 \quad (3.3)$$

3.2.11. pH Değerleri

Çiğ ve pişirmenin ardından vakum soğutulmuş örneklerin pH değerleri önceden pH 4,0 ve 7,0 değerlerindeki tampon zeltilelerle kalibre edilmiş daldırmalı tip pH-metre (Testo 205, Testo, Lenzkirch, Almanya) kullanılarak saptanmıştır (Güler Dal vd., 2021).

3.2.12. Ohmik Isıtmalı n Pişirme İşlemi Esnasında Elektriksel İletkenliğin Tayini

Elektriksel iletkenliğin belirlenmesi amacıyla ohmik ısıtmalı n pişirme işlemi esnasında kontrol panelinden 2 saniyede bir akım (I) ve voltaj (V) değerleri okunarak bilgisayara kaydedilmiştir. Tavuk köftelerin elektriksel iletkenlik değeri (σ) Sarang vd. (2008) tarafından Denklem 3.4'te belirtildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{I}{V} \times \frac{L}{A_s} \quad (3.4)$$

Eşitlikte I akım (A), V gerilim (V), L plakalar arasındaki mesafe (m) ve A_s temas yüzey alanını (m^2) ifade etmektedir.

3.2.13. Toplam Kuru Madde İçeriği

Köfte rneklerinin toplam kuru madde içeriğinin (%) belirlenmesi için, alüminyum kurutma kapları 2 saat süre ile $105^\circ C$ 'lik etüvde önceden kurutulmuş ve desikatörde oda sıcaklığına getirildikten sonra hassas terazi yardımıyla kapların darası alınmıştır. Ardından geleneksel ve ohmik ısıtma ile n pişirme işlemi uygulanmış örneklerden yaklaşık 5 g kurutma kaplarına tartılmış, $105^\circ C$ 'lik etüv içerisinde (EN500, Nüve, Ankara, Türkiye) sabit tartıma ulaşana kadar (yaklaşık 18 saat) kurutulmuş ve sabit tartıma gelmiş kurutma kapları tartılarak örneklerin toplam kuru madde içeriği (%) hesaplanmıştır (AOAC Metot 950.46B, 1990).

3.2.14. Kül Tayini

Kül içeriğinin (%) belirlenmesinde, toplam kuru madde tayininde kurutulan örnekler tartılarak krezeler içersine alınmış, kül fırınında 550°C sıcaklıkta renk gri beyaza dönünceye kadar (18-24 saat) yakılmıştır. Yakma sonrasında krezelerde kalan kül ağırlığı, yakma öncesi kuru örnek ağırlığına oranlanarak köfte örneklerinin kül içerikleri (%) kuru madde esasına göre hesaplanmıştır (AOAC Metot 950.46B, 1990).

3.2.15. Ham Yağ Tayini

Tavuk ve sığır köftelerin yağ içeriği (%), solvent ekstraksiyon yönteminin (Soxhlet) modifiye edilip kullanılmasıyla tespit edilmiştir (AOAC Metot 960.39, 1990). Bu amaçla 105°C'lik etüvde 18 saat süre ile kurutulmuş örnekler, Soxhlet ekstraktörüne yerleştirilmiş ve yaklaşık 8 saat boyunca ekstraksiyon sürdürülmüştür. Ardından selüloz kartuş içersindeki örnekler etüvde 2 saat kurutulmuş ve son örnek ağırlıkları tartılmıştır. Ağırlık farkının başlangıç örnek ağırlığına oranı kullanılarak yağ içeriği (%) hesaplanmıştır.

3.2.16. Ham Protein Tayini

Köftelerin toplam azot-protein değerleri Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde Dumatherm cihazı (Gerhardt GmbH & Co. KG, Königswinter, Almanya) kullanılarak Dumas Yöntemi'ne göre belirlenmiştir. Örneklerin protein içeriği (%) toplam azot değerlerinin faktör (6,25) ile çarpılması sonucu hesaplanmıştır (AOAC Metot 968.06, 1990b).

3.2.17. Tekstür Profili Analizi

Soğutulmuş köftelerin sertlik (hardness), elastikiyet (springness), yapışkanlık (gumminess), çiğnenebilirlik (chewiness) ve bağlılık (cohesiveness) gibi tekstürel özellikleri Gıda Mühendisliği Bölümü Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan tekstür analiz cihazı (EZ-X, Shimadzu Corporation, Tokyo, Japonya) kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla vakum soğutulmuş numunelerin tekstürel özellikleri oda sıcaklığında disk başlığı (Tubing test jig-5mm dia.) kullanılarak ölçülmüştür (Kumral, 2021; Ángel-Rendon, 2022). Tekstürel özellikler her iki köfte örneği (tavuk ve sığır) için de depolamanın farklı günleri için oda sıcaklığında belirlenmiştir. Köfte örnekleri 20 x 20 x 40±7 mm (yükseklik x genişlik x uzunluk) boyutlarında dikdörtgenler prizması şeklinde kesilerek analize hazırlanmıştır. Örnekler cihaza yerleştirildikten sonra 1 mm/s sıkıştırma hızı, 500N yük

ve 6 mm sıkıştırma oranı kullanılarak ölçümler gerçekleştirilmiş, TPA'ya ait tekstürel parametreler cihaza ait yazılım (TRAPEZIUM-X® Material Testing Operation Software, Shimadzu Corporation, Tokyo, Japonya) kullanılarak hesaplanmıştır.

3.2.18. Renk Analizi

Renk ölçümleri, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan kolorimetre cihazı (CR400, Konica-Minolta, Osaka, Japonya) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Pişmiş ve soğutulmuş köfte örneklerinde her bir tekerrür için dış yüzey ve kesit yüzeyinden dört farklı ölçüm alınmıştır (Güler Dal vd., 2021). Cihaz kullanım öncesinde beyaz standart levhası kullanılarak kalibre edilmiş, daha sonra numunelerin dış yüzey ve kesit alanlarına ait renk özellikleri CIE L*, a* ve b* belirlenerek toplam renk farkı (ΔE^*), kroma farkı (ΔC^*), kroma (C^*), hue açısı ve kroma indeksi (CI) gibi renk özellikleri aşağıdaki denklemler (Denklemler 3.5-3.9) kullanılarak hesaplanmıştır. Pişirilmiş köftelerin renk parametrelerindeki değişimler (ΔL^* , Δa^* ve Δb^*) çiğ köfte hamurlarının renk değerleri başlangıç alınarak (L_0^* , a_0^* ve b_0^*) hesaplanmıştır.

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3.5)$$

$$\Delta C^* = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3.6)$$

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (3.7)$$

$$\text{Hue açısı} = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (3.8)$$

$$CI = \frac{a^*}{b^*} \quad (3.9)$$

3.2.19. Su Aktivitesi Tayini

Vakum soğutma işlemi tamamlanan örnekler parçalanmış ve homojenize edilmiş, su aktivitesi değerleri $25 \pm 2^\circ\text{C}$ 'de su aktivite cihazı (Testo 645, Testo Inc., Lenzkirch, Almanya) kullanılarak tespit edilmiştir.

3.2.20. Su Tutma Kapasitesi Analizi

Su tutma kapasitesinin (g absorbe edilen su/g örnek) belirlenmesi amacıyla Lin ve Lin (2004) tarafından önerilen prosedür modifiye edilerek kullanılmıştır. Bu amaçla, yaklaşık 5 g homojenize köfte örneği 50 mL'lik santrifüj tüpüne alınarak üzerine 10 mL distile su eklenmiş ve 9000 rpm'de 15 dakika santrifüj işlemine maruz bırakılmıştır. Ardından santrifüj tüplerinden süpernatant uzaklaştırılmış, son örnek ağırlığı belirlenmiştir. Su tutma kapasitesi Denklem 3.10 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{STK (g su / g örnek)} = \frac{(\text{Son örnek ağırlığı} - \text{Başlangıç örnek ağırlığı})}{\text{Başlangıç örnek ağırlığı}} \quad (3.10)$$

Yüksek su tutma kapasitesi değeri daha fazla suyun bağlandığını ve su tutma yeteneğinin daha yüksek olduğunu ifade etmektedir (Lin ve Lin, 2004).

3.2.21. Tiyobarbitürik Asit Reaktif Maddeleri Analizi

Vakum soğutulmuş köfte örneklerinin lipid oksidasyonu değerleri, tiyobarbitürik asit reaktif ürünleri (TBARS) analizi ile Witte vd. (1970) tarafından belirtilen orijinal ekstraksiyon yöntemi kullanılarak saptanmıştır. Bu amaçla köfte örneği (5 g) tartılarak üzerine 50 mL %20'lik TCA çözeltisi ilave edilmiş ve homojenizer (Daihan Scientific Co. Ltd., WiseTis HG-15D, Gang-Won-Do, Güney Kore) ile parçalanmıştır. Parçalanmış karışıma 50 mL distile su eklenmiş ve 1 dakika daha parçalanarak 100 mL'lik balon jöjeye bir huniden filtre kâğıdı yardımıyla süzölmüş ve hacim çizgisine TCA/su karışımı (1:1, v/v) ile tamamlanarak karıştırılmıştır. Ardından 5 mL süzöntü alınarak deney tüpüne aktarılmış, üzerine 0.02 M TBA ilave edilmiş, ardından tüpler 80°C'deki su banyosunda (WiseBath, WB-11, Daihan Scientific Co., Ltd., Gang-Won-Do, Güney Kore) 35 dakika bekletilmiştir. Soğuyan çözeltilerin absorbandsı 532 nm dalga boyuna ayarlanmış spektrofotometre (Optizen Pop, Mecasys Co., Ltd., Daejeon, Güney Kore) ile okunmuş, TBARS değeri "mg malonaldehit/kg örnek" olarak hesaplanmıştır.

3.2.22. Toplam Mezofilik Aerobik Bakteri Sayımı

Örneklerin +4°C'de soğukta ve -18°C'de dondurularak depolanma sürecinde belirli günlerde toplam mezofilik aerobik bakteri sayısı (TMAB) (toplam canlı) sayımları (Andrews, 1992) gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, ohmik ısıtmalı ön pişirilmiş ve vakum soğutulmuş köfte numuneleri steril bir bıçak kullanılarak yaklaşık 10 g olacak şekilde kesilmiş, steril stomacher poşetlerine konulmuştur. Örnekler ardından tamponlanmış 90

mL %0,85'lik NaCl ile hazırlanan fizyolojik tuzlu su (FTS) çözeltisi ve stomacher cihazı (Bagmixer® 400P, Interscience, Saint-Nom-la-Bretèche, Fransa) kullanılarak yaklaşık 2 dakika homojenize edilmiş, ardından dilüsyonlar hazırlanmıştır. Çalışmada toplam canlı sayımı PCA besiyeri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Besiyeri petrilere yaklaşık 15-16 mL dökülmüş ve 8 şeklinde dairesel hareketlerle besiyeri homojen olarak dağıtılmıştır. Ardından hazırlanan dilüsyonlardan paralelli olarak steril petrilere birer mililitre aktarılmış yayma plak yöntemi ile ekimler yapılmıştır. Daha sonra, petrilere ters çevrilerek 37°C (PCA) 48 saat (FDA, 1995) inkübasyona bırakılmıştır. Kolonilerden 30–300 arasında olanlar sayılmış, toplam canlı sayımları “koloni oluşturan birim (KOB)/g örnek” olarak belirtilmiştir.

3.2.23. Küf ve Maya Sayımı

Depolama süresi boyunca ohmik ısıtma ile ön pişirilmiş ve vakum soğutulmuş köfte örneklerinde küf ve maya sayımı analizleri (Andrews, 1992) PDA besiyeri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Örneklerle ait seri dilüsyonlardan yayma plak yöntemi ile yapılan ekim sonrası petrilere 25°C'deki inkübatörde 5 gün inkübasyona tabi tutulmuş ve örneklerin mikrobiyal yükü petri sayımları sonucu tespit edilmiştir. Sayımlarda 30-300 arasında koloni oluşan petrilere dikkate alınmış ve sonuçlar KOB/g olarak ifade edilmiştir.

3.2.24. Duyusal Analiz

Ön pişirilmiş ve vakum soğutulmuş köfte örneklerinin duyusal analizleri depolamanın ilk gününde gerçekleştirilmiştir. Soğutulduktan sonra vakum paketlenen örnekler duyusal analizlere kadar +4°C'de muhafaza edilmiştir. Duyusal analizler, örneklerin zorlamalı konveksiyonel bir fırın (MF 44, Arçelik, İstanbul, Türkiye) içerisinde 180°C'de (turbo ayarında) orta rafta folyo kâğıt (Koroplast, Koroplast Temizlik Ambalaj Ürünleri San. ve Dış Tic. A.Ş., İstanbul, Türkiye) içerisinde merkez sıcaklığının 85°C'ye ulaşacak şekilde tekrar pişirilmesinin (Güler Dal vd., 2021) ardından gerçekleştirilmiştir. Duyusal analizler Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu tarafından onaylanan GO 2023/455 karar numaralı etik kurul izninin temin edilmesinden sonra gerçekleştirilmiştir. Pişirme işlemi esnasında merkez sıcaklığının kontrolü dijital fırın termometresine (DT1004A, Cheerman Electronics Co., Ltd., Hong Kong, Çin) bağlı ısıleş kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Köfte numunelerinin duyusal analizleri Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı lisansüstü öğrencilerinden oluşan yarı

eğitilmiş 8 panelist (25-40 yaş arası) ile gerçekleştirilmiştir. Eğitimler sırasında sertlik ve sululuk testlerinin formatı ve skalanın değerlendirilmesi hakkında bilgilendirilmiş panelistlerden köfte örneklerini, önceden tanıtılmış standart numunelerin skaladaki sertlik (1:düşük (krem peynir), 7:orta (sosis), 14,5:yüksek (sert şeker)) ve sululuk (1:düşük (muz), 4: mantar, 10:elma, 15:yüksek (karpuz)) skorlarına göre (Çizelge 3.2) puanlandırmaları istenmiştir (Muñoz, 1986; Civile vd., 2016).

Çizelge 3.2. Duyusal eğitimde kullanılan standart numunelere ait sertlik ve sululuk parametreleri (Civile vd., 2016)

Tekstürel Özellik	Tanım	Değerlendirme Tekniği	Skala Değeri	Referans Gıda	Tür/Marka
Sertlik	Molar dişler arasında gıdayı sıkıştırmak için gereken kuvvet	Örnek molar dişlerin arasına yerleştirilir ve eşit şekilde ısıtarak, gıdayı sıkıştırmak için gereken kuvvet değerlendirilir.	1	Krem peynir	Pınar Süt Mamülleri San. A.Ş., Eskişehir
			7	Sosis	Pınar Entegre Et ve Un Sanayi A.Ş. Kemalpaşa, İzmir (Kaynar suda 5 dakika haşlanmış)
			14,5	Sert şeker	Olips, Kent Gıda Maddeleri San. ve Tic. A.Ş., Kocaeli
Sululuk	Ağızda hissedilen su/nem miktarı	Örnek, beş çiğnemeye kadar azı dişleriyle çiğnenir.	1	Muz	Olgun, Yerli
			4	Mantar	Kültür
			10	Elma	Kırmızı, Gala (Suda çözünür kuru madde içeriği: %12,70, kesme sertliği: 26,70 N)
			15	Karpuz	Çekirdeksiz

Eğitim, farklı günlerde her biri 60 dakika süren dört seans halinde gerçekleştirilmiş ve panelistler tarafından verilen skorlara ait varyasyon katsayısının %10'un altına inmesi sonrasında gerçek analizlere geçilmiştir. Duyusal analizlerde her bir pişirilmiş köfte örneği ortadan ikiye kesilmiş, üç haneli rastgele nümerik numaralar ile kodlanmış ve küçük beyaz plastik tabaklara yerleştirilerek panelistlere $70\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de servis edilmiştir. Köfteler, panelistlere rastgele sırayla servis edilmiştir. Numuneler arasında damaklarını temizlemek amacıyla panelistlere içme suyu (Nazlı, Aydın, Türkiye) ve tuzsuz ekmek sunulmuştur. Duyusal analiz üç kez tekrarlanmıştır. Panel sonuçlandığında panelistler tarafından verilen sertlik ve sululuk skorlarının ortalamaları saptanmıştır. Duyusal değerlendirme formu Ek-1'de yer almaktadır.

3.2.25. Morfolojik Yapının Tespiti

Köfte örneklerine ait dokusal incelemeler stereo zoom mikroskobu (Olympus SZX7, Olympus Corp., Tokyo, Japonya) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mikroskop görüntüleri 8 kat büyütülerek elde edilmiştir. Analiz esnasında mikroskoba entegre dijital kamera sistemi (Olympus DP26 ve Olympus cellSens Imaging Software, Olympus Corp., Tokyo, Japonya) kullanılmıştır.

3.2.26. Toplam ve Spesifik Enerji Tüketiminin Saptanması

Piştirme ve vakum soğutma işlemleri sırasında toplam enerji tüketimi değerleri (Wh) priz tipi Wattmetre (TT-Technic, PMG-1, Çin) kullanılarak belirlenmiştir. Sistemde dış ortama transfer yoluyla ısı kayıpları ihmal edilerek köftelerin ön pişirilmesinde giriş elektrik enerjisi sistemin tükettiği enerji olarak ele alınmıştır. Spesifik enerji tüketimi (specific energy consumption, SET, kWh/kg) değerleri ise giriş elektrik enerjisi ve örnek ağırlığının yer aldığı Denklem 3.11 kullanılarak hesaplanmıştır (Pathare ve Roskilly, 2016).

$$\text{Spesifik Enerji Tüketimi} = \frac{\text{Giriş Elektrik Enerjisi (kWh)}}{\text{Örnek Ağırlığı (kg)}} \quad (3.11)$$

3.2.27. Metal Migrasyonu Tayini

Ohmik ısıtmalı ön piştirme işlemi sırasında paslanmaz çelik elektrotlardan ürüne (olası) metal migrasyonu tavuk köfte örneklerinde test edilmiş ve bu analizler Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi BİLTEKMER'deki alt yapı kullanılarak, hizmet alımı yoluyla gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, kül haline getirilmiş (650°C sıcaklıkta yaklaşık 10 saat) tavuk köfte örneklerinden yaklaşık 0,2 g (kül) teflon kap içerisine alınmış ve üzerine 9 mL 10 M HNO₃ (%65'lik) ve 3 mL 10 M HCl (%30'luk) ilave edilip mikrodalga yakma sisteminde (Milestone Start D, Milestone Srl, Sorisole, Bergamo, İtalya) iki aşamalı sıcaklık programı kullanılarak (ilk aşamada sıcaklık 15 dakikada 150°C'ye çıkarılmış ve ikinci aşamada 150°C'de 15 dakika bekletilmek suretiyle) yakılmıştır (Nobrega vd., 2012). Yakma sisteminin soğumasının ardından sıvı berrak numuneler 50 mL'lik kapaklı santrifüj tüplerine aktarılmış ve son hacim 50 mL olacak şekilde ultra saf su ile seyreltilmiştir. Mineral madde tayini indüktif eşleşmiş plazma optik emisyon spektroskopisi (ICP-OES, Perkin Elmer Optima 8000, Perkin Elmer, Waltham, MA, ABD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Öğüt vd., 2016).

3.2.28. İstatistiksel Değerlendirme

Ön pişirme denemelerinde 3x2 (voltaj gradyanı x pişirme basıncı) tam faktöriyel tasarım kullanılmıştır. Tüm denemeler 3 tekrerrür halinde, fiziksel, kimyasal ve fizikokimyasal analizler ise en az 2 paralel olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Sonuçların istatistiksel değerlendirmesinde SAS paket programından (SAS, Windows 9.0, SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, ABD) yararlanılmış, deney sonuçları tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve $\alpha=0,05$ önem seviyesinde Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Enstrümental ve duyuusal tekstür değerleri arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için Pearson korelasyon katsayıları (R) PROC CORR prosedürü kullanılarak hesaplanmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Köfte Hamurlarına Ait İletkenlik Değerlerinin Optimizasyonu

4.1.1. Tavuk Eti Köfteleri

Tavuk eti köfte hamurlarına ait elektriksel iletkenlik değerlerinin optimizasyonunda Çizelge 4.1’de verilen Merkezi Karma Tasarım (CCD)’ye ait deneme koşulları kullanılmış ve efektif elektriksel iletkenlik değerlerine ait sonuçlar aynı çizelgenin son sütunu içerisinde sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Tavuk köftelerin efektif elektriksel iletkenlik değerlerinin optimizasyonu amacıyla kullanılan merkezi karma tasarımında belirlenen deneme koşulları ve sonuçlar

Standart Sıra	Deneme Sırası	Yağ İçeriği (%)	Tuz İçeriği (%)	Efektif Elektriksel İletkenlik (S/m)
12	1	17,50	1,50	0,18
10	2	17,50	1,50	0,18
5	3	10,00	1,50	0,22
1	4	12,20	1,15	0,15
11	5	17,50	1,50	0,19
9	6	17,50	1,50	0,17
8	7	17,50	2,00	0,26
6	8	25,00	1,50	0,14
4	9	22,80	1,85	0,25
7	10	17,50	1,00	0,14
2	11	22,80	1,15	0,12
13	12	17,50	1,50	0,15
3	13	12,20	1,85	0,25

Deney tasarımında tavuk köftelerle gerçekleştirilen optimizasyon denemelerinde, yağ içeriğindeki (A olarak kodlanmış faktör) artışla köfte örneklerine ait efektif elektriksel iletkenlik değerinin azaldığı, farklı yağ içeriği değerleri için efektif elektriksel iletkenlik değerlerinin istatistiksel olarak farklı olduğu saptanmıştır ($p<0,05$) (Çizelge 4.2). Tuz içeriğindeki (B olarak kodlanmış faktör) artış ile efektif elektriksel iletkenlik değerlerinin arttığı, tuz içeriğinin köfte hamurlarının efektif elektriksel iletkenlik değişiminde önemli olduğu saptanmıştır ($p<0,05$). ANOVA testinde (lineer (doğrusal), kuadratik ve kübik gibi) bazı istatistiksel modeller test edilmiştir. Lineer model söz konusu olduğunda, deneme sonuçlarına göre tuz içeriği faktörünün iletkenlik değeri üzerine etkisi anlamlı bulunmuştur (Çizelge 4.2). Modelin uygunluğunun test edilmesi

amacıyla kullanılan determinasyon katsayısı (R^2) değerinin (verilerin eğilim yönüne ait önemli bir gösterge) 1'e yakın olması istenmektedir. RSM'deki ANOVA çizelgesine (Çizelge 4.2) göre model uyumsuzluğu (lack of fit) değerinin 0,05'ten yüksek olması bu değer anlamlı olmadığını ifade eder. Bu da uygunluğunun yüksek olduğunu, deneysel verinin doğru bir şekilde ifade edildiği anlamına gelir. R^2 ($R^2=0,865$) ve düzeltilmiş R^2 değerlerinin yüksek oluşu (0,837), yeterli kesinlik (Adeq. Precision) değerinin 4'ün üzerinde olması (15,844), model uyumsuzluğu değerinin önemli olmaması, modelin p değerinin önemli oluşu ($<0,0001$) ve faktörlerin etkisinin belirgin oluşu (tuz içeriği için $p<0,0001$, yağ içeriği için $p<0,05$) gibi nedenlerle en iyi model olarak doğrusal modelin kullanımının uygun olduğu saptanmıştır. Optimum koşul öngörülerinde bağımsız değişkenler olan yağ ve tuz içeriği için 'aralıkta (in range)', yanıt değeri olan elektriksel iletkenlik için ise 'maksimum (maximize)' değeri hedeflenmiştir. Önemlilik düzeyi bağımsız değişkenler (yağ ve tuz içeriği) ve bağımlı değişken (elektriksel iletkenlik) için 3 olarak dikkate alınmıştır. CCD'de kodlanmış faktörler için doğrusal denklem katsayıları da gerçek ve kodlanmış faktörler için Çizelge 4.2'de sunulmuştur.

Çizelge 4.2. Tavuk köfteleri ile gerçekleştirilen optimizasyon denemelerine ait ANOVA çizelgesi ve tasarım ölçütleri

Doğrusal (Lineer) Model		p Değerleri	
R^2	0,865	Yağ içeriği	0,036
Düzeltilmiş R^2 (Adjusted R^2)	0,837	Tuz İçeriği	$<0,0001$
Tahmin edilen R^2 (Predicted R^2)	0,754	Model uyumsuzluğu (Lack of fit)	0,1784
Doğrusal Denklem Katsayıları (Kodlanmış Faktörler)		Doğrusal Denklem Katsayıları (Gerçek Faktörler)	
İletkenlik = $0,18 - 0,016 \cdot \text{Yağ içeriği} + 0,052 \cdot \text{Tuz içeriği}$		İletkenlik = $0,0203 - 0,00309 \cdot \text{Yağ içeriği} + 0,1457 \cdot \text{Tuz içeriği}$	

ANOVA sonuçlarına göre iletkenlik yanıtı maksimize edildiğinde ve diğer değerler girilen aralıklarda (in range) tutulduğunda istenilirlik (desirability) değeri 0,926 olan bir adet çözüm elde edilmiştir. Bu çözüme göre, köfte hamurlarının yağ içeriği %12,20 ve tuz içeriği %1,85 değerine sahip olduğunda maksimum değer olan 0,253 S/m efektif elektriksel iletkenlik değerinin elde edebileceği saptanmıştır. Optimizasyon sonucuna göre, optimum yağ ve tuz içerecek şekilde hazırlanan köfte hamurunun iletkenlik değeri için elde edilmesi gereken değer aralıkları 0,20-0,30 S/m (%95 PI aralığı) ve 0,23-0,27 S/m (%95 CI aralığı) olarak belirlenmiştir. Modelin validasyonu amacıyla optimum yağ

ve tuz içerecek şekilde tavuk köfte hamurları hazırlanmış ve köfte örneğinin iletkenlik değeri 0,223 S/m olarak ölçülmüştür. Bu değer %95 PI değer aralığı olan 0,20-0,30 S/m arasında yer aldığından optimizasyonun başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği belirlenmiştir.

4.1.2. Sığır Eti Köfteleri

Sığır eti köfte hamurlarına ait elektriksel iletkenlik değerlerinin optimizasyonunda Çizelge 4.3'te verilen CCD'ye ait deneme koşulları kullanılmış ve efektif elektriksel iletkenlik değerlerine ait sonuçlar aynı çizelgenin son sütunu içerisinde sunulmuştur.

Çizelge 4.3. Sığır köftelerin efektif elektriksel iletkenlik değerlerinin optimizasyonu amacıyla kullanılan merkezi karma tasarımında belirlenen deneme koşulları ve sonuçlar

Standart Sıra	Deneme Numarası	Yağ İçeriği (%)	Tuz İçeriği (%)	Efektif Elektriksel İletkenlik (S/m)
5	1	10,00	1,50	0,64
11	2	17,50	1,50	0,67
1	3	12,20	1,15	0,58
3	4	12,20	1,85	0,68
7	5	17,50	1,00	0,57
10	6	17,50	1,50	0,67
13	7	17,50	1,50	0,65
2	8	22,80	1,15	0,54
9	9	17,50	1,50	0,64
12	10	17,50	1,50	0,65
4	11	22,80	1,85	0,69
8	12	17,50	2,00	0,74
6	13	25,00	1,50	0,66

Sığır etinden üretilmiş köfte hamurlarıyla gerçekleştirilen denemelerde tavuk köftee benzer şekilde yağ içeriğindeki (A olarak kodlanmış faktör) artışla efektif elektriksel iletkenlik değerleri azalmış, tuz içeriğindeki (B olarak kodlanmış faktör) artış ile ise elektriksel iletkenlik değerleri artış göstermiştir ($p<0,05$) (Çizelge 4.4). Deney tasarımına ANOVA testi uygulanmış ve deneme için öngörülen model doğrusal model olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.4'e göre tuz içeriği faktörünün köfte hamurlarının iletkenlik değeri üzerine etkisi önemli bulunmuştur ($p<0,0001$). RSM'de model uyumsuzluğu değerinin istatistiksel anlamda önemli olmadığı saptanmış ($p>0,05$); R^2 değerinin yüksek olması ($R^2=0,866$) ve model uyumsuzluğu değerinin ($p=0,1155$) önemli olmaması, yeterli kesinlik (Adeq.Precision) değerinin 4'ün üzerinde olması (16,722), gibi

nedenlerle doğrusal model kullanılmıştır. Optimum koşul öngörülerinde yağ ve tuz içeriği için ‘aralıkta (in range)’, elektriksel iletkenlik için ise ‘maksimum (maximize)’ değeri hedeflenmiştir. Önemlilik düzeyi bağımsız değişkenler (yağ ve tuz içeriği) ve bağımlı değişken (elektriksel iletkenlik) için 3 olarak dikkate alınmıştır.

Çizelge 4.4. Sığır köfteleri ile gerçekleştirilen optimizasyon denemelerine ait ANOVA çizelgesi ve tasarım ölçütleri

Doğrusal (Linear) Model		p Değerleri	
R ²	0,866	Yağ içeriği	0,9781
Düzeltilmiş R ² (Adjusted R ²)	0,839	Tuz İçeriği	<0,0001
Tahmin edilen R ² (Predicted R ²)	0,744	Model uyumsuzluğu (Lack of fit)	0,1155
Doğrusal Denklem Katsayıları (Kodlanmış Faktörler)		Doğrusal Denklem Katsayıları (Gerçek Faktörler)	
İletkenlik = 0,64–2,145x10 ⁻⁴ *Yağ içeriği + 0,061*Tuz içeriği		İletkenlik = 0,38524–4,04401x10 ⁻⁵ *Yağ içeriği + 0,17339*Tuz içeriği	

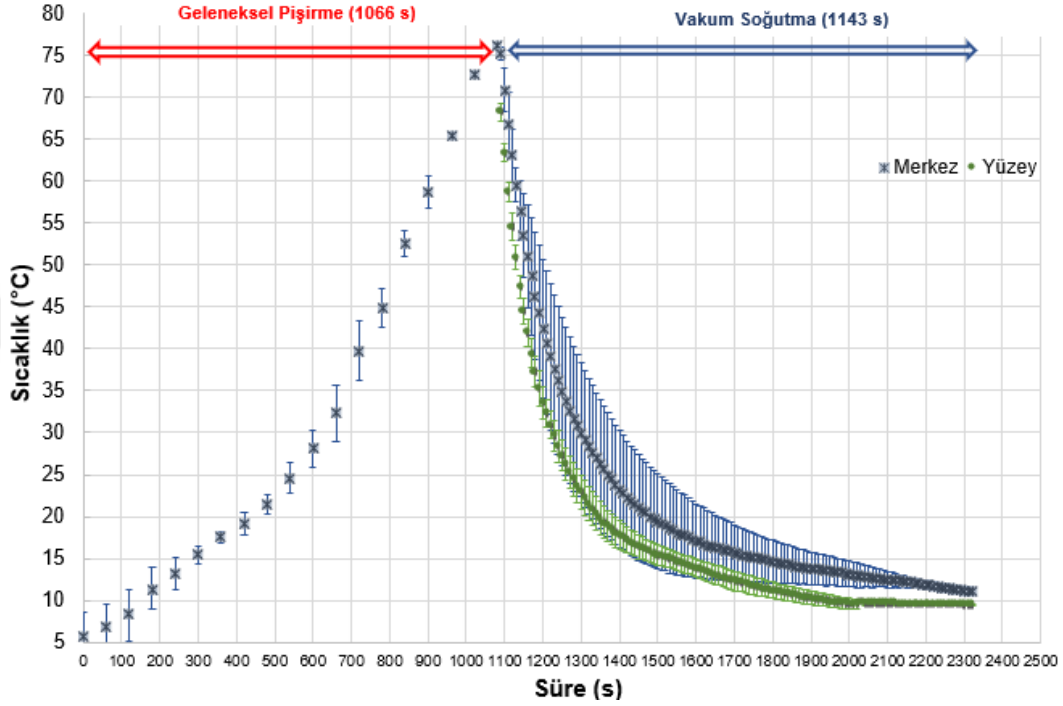
ANOVA sonuçlarına göre iletkenlik yanıtı maksimize edildiğinde ve diğer değerler girilen aralıklarda tutulduğunda istenilirlik değeri 0,831 olan bir adet çözüm elde edilmiştir. Bu çözüme göre, istatistik programı yardımıyla sığır köfte hamurlarının yağ içeriği %12,20 ve tuz içeriği %1,85 değerine sahip olduğunda maksimum değer olan 0,706 S/m iletkenlik değerinin elde edilebileceği saptanmıştır. Optimizasyon sonucuna göre, optimum yağ ve tuz içerecek şekilde hazırlanan sığır köfte hamurunun iletkenlik değerinin kontrolünde kullanılacak PI ve CI değer aralıkları sırasıyla 0,65-0,76 ve 0,68-0,73 S/m olarak belirlenmiştir. Optimum yağ ve tuz içerecek şekilde sığır köfte hamurları hazırlanmış ve bu köfte örneğinin iletkenlik değeri (0,70 S/m) belirlenen aralıkta saptanmak suretiyle optimum değerler doğrulanmıştır.

4.2. Ön Pişirme ve Soğutma Denemelerine Ait Bulgular

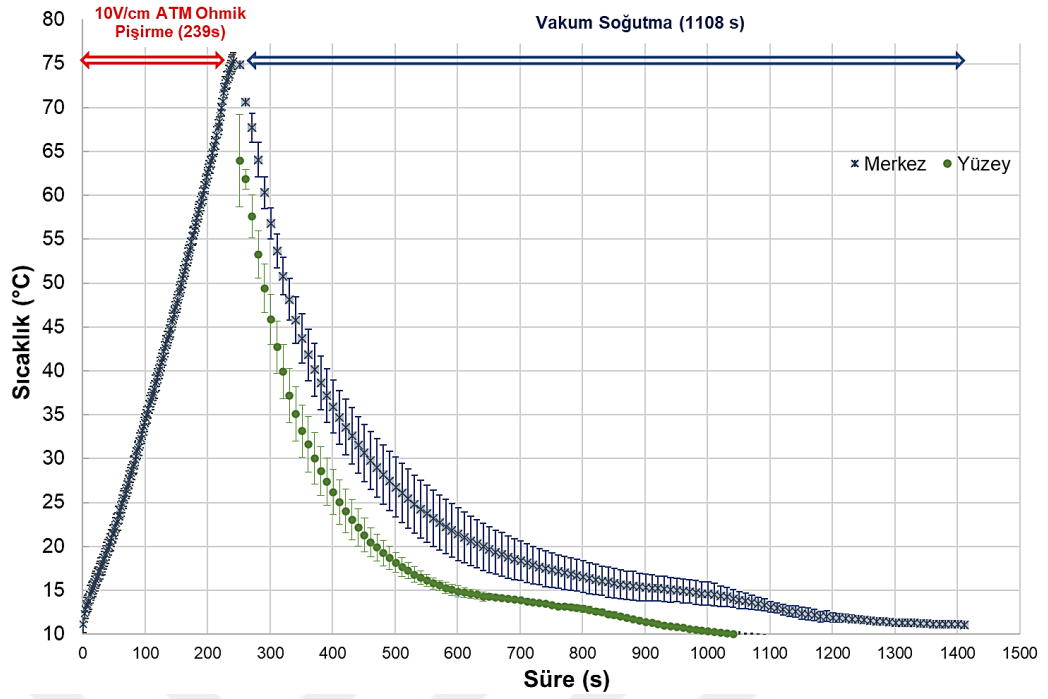
4.2.1. Tavuk Eti Köfteleri

Tavuk köftelerin geleneksel yöntemle ön pişirilmesi sırasında zamana bağlı sıcaklıklarındaki değişim Şekil 4.1’de sunulurken atmosfer basıncında 10, 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanlarında ohmik ısıtmalı ön pişirilmesine ait değişim sırasıyla Şekil 4.2, 4.3 ve 4.4’te verilmiştir. Köftelerin vakum altında 10, 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanlarında ohmik ısıtmalı ön pişirilmesi sırasında zamana bağlı sıcaklıklarındaki değişim ise

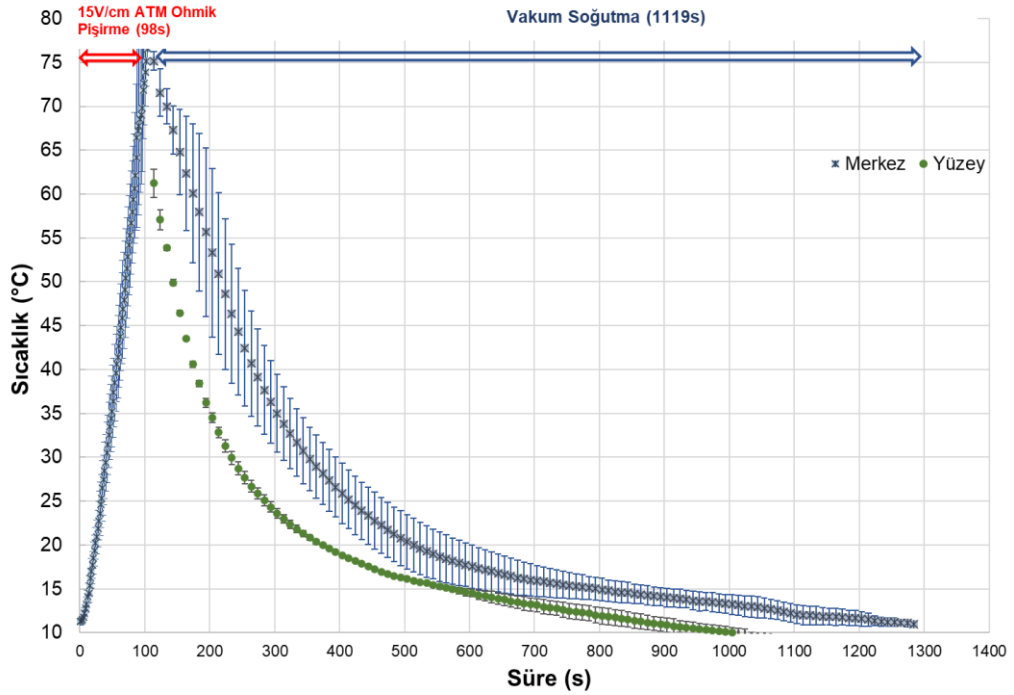
sırasıyla Şekil 4.5, 4.6 ve 4.7’de verilmiştir. Geleneksel ön pişirme işleminde ve atmosfer basıncında ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerinde tavuk köftelerin merkez ve yüzey sıcaklıkları arasındaki fark belirgin iken, ohmik ısıtmalı ön pişirmenin vakum altında özellikle de 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanlarında gerçekleştirilmesi ile köftelerin merkez ve yüzey sıcaklıkları, birbirine daha yakın olma eğilimi göstermiştir.



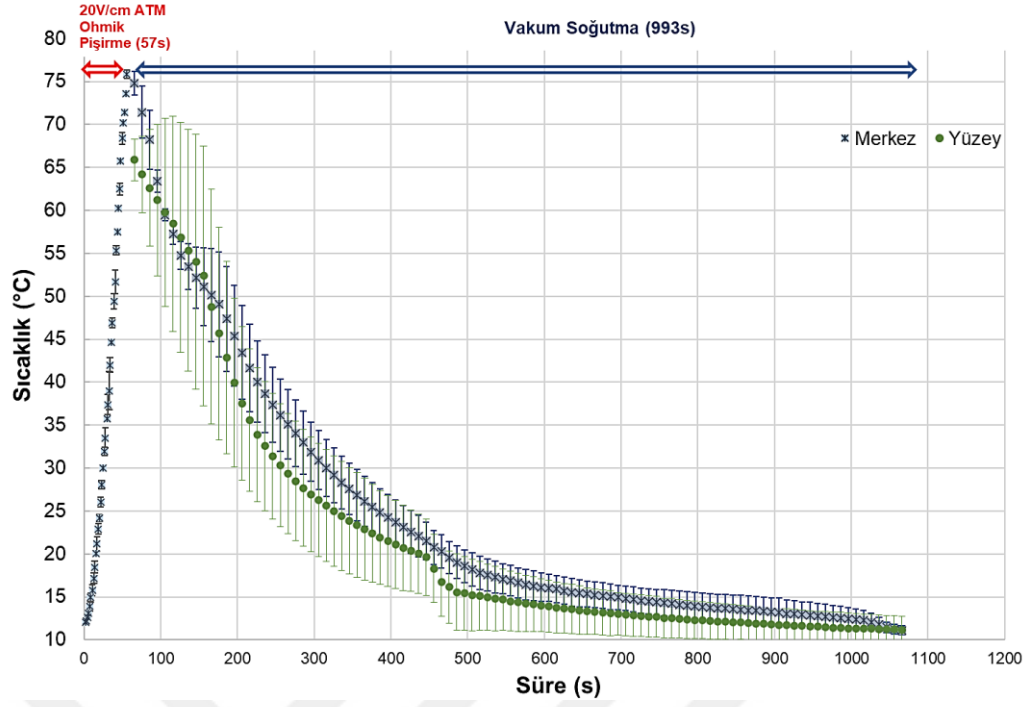
Şekil 4.1. Geleneksel ön pişirme ve vakum soğutma sırasında tavuk köftelerin merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim (Hata çubukları standart sapmayı ifade etmektedir.)



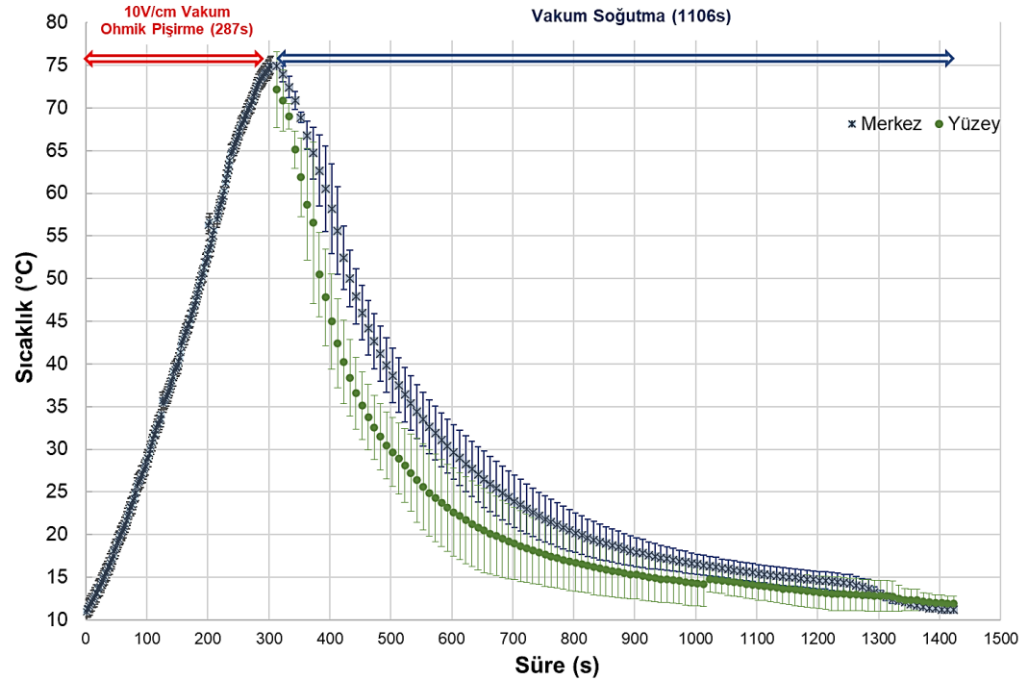
Şekil 4.2. Atmosfer basıncında 10 V/cm voltaj gradyanında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme ve vakum soğutma sırasında tavuk köftelerin merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim (Hata çubukları standart sapmayı ifade etmektedir.)



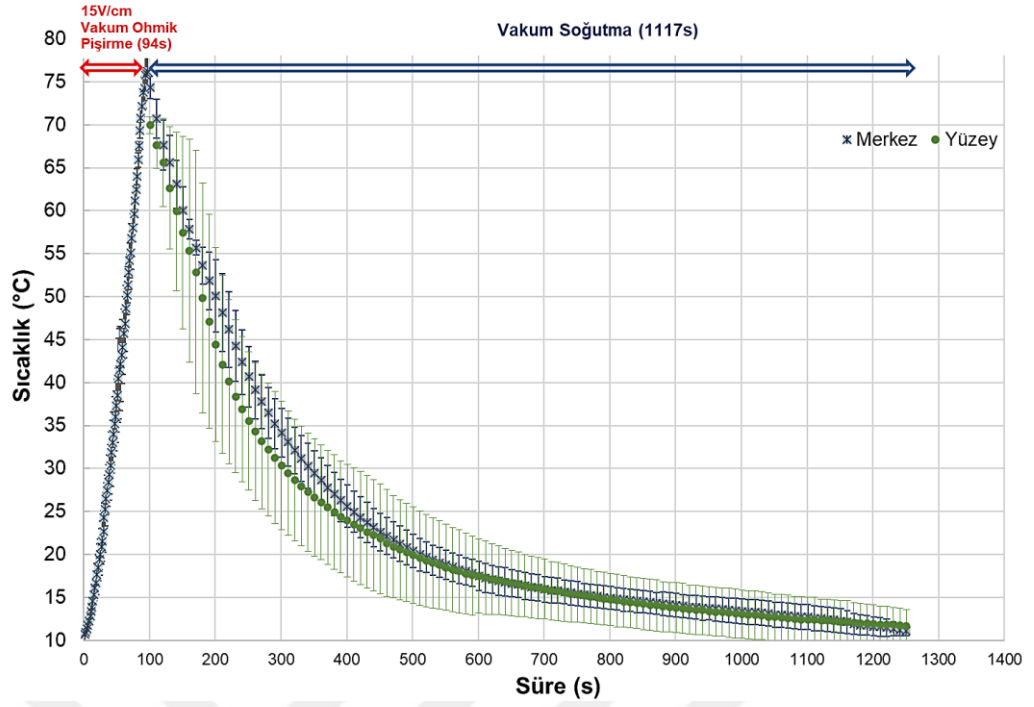
Şekil 4.3. Atmosfer basıncında 15 V/cm voltaj gradyanında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme ve vakum soğutma sırasında tavuk köftelerin merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim (Hata çubukları standart sapmayı ifade etmektedir.)



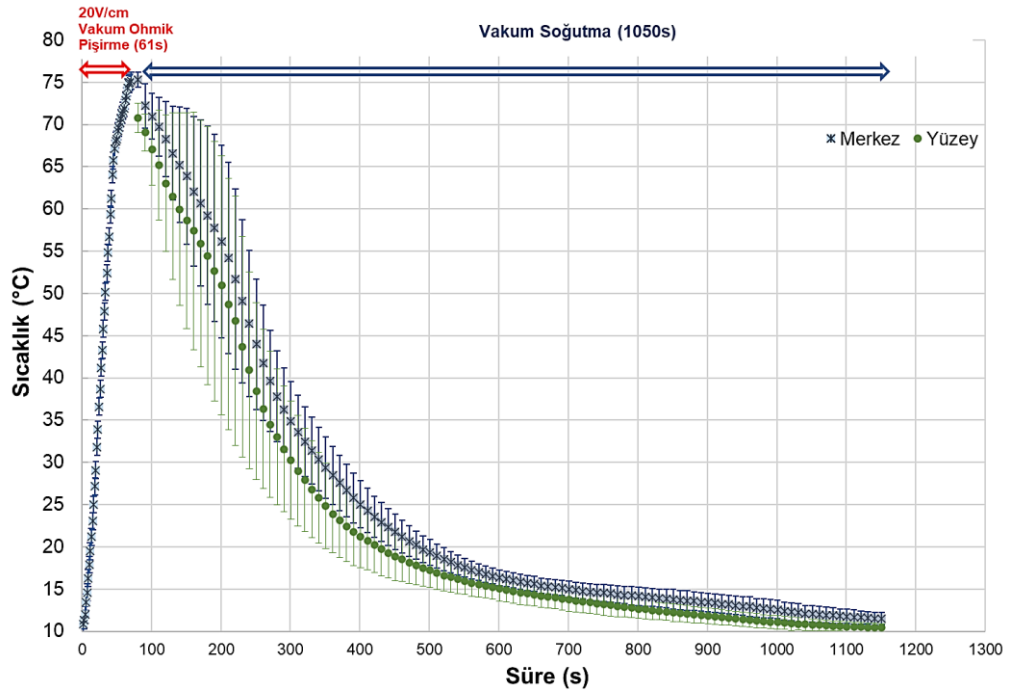
Şekil 4.4. Atmosfer basıncında 20 V/cm voltaj gradyanında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme ve vakum soğutma sırasında tavuk köftelerin merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim (Hata çubukları standart sapmayı ifade etmektedir.)



Şekil 4.5. Vakum altında 10 V/cm voltaj gradyanında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme ve vakum soğutma sırasında tavuk köftelerin merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim (Hata çubukları standart sapmayı ifade etmektedir.)



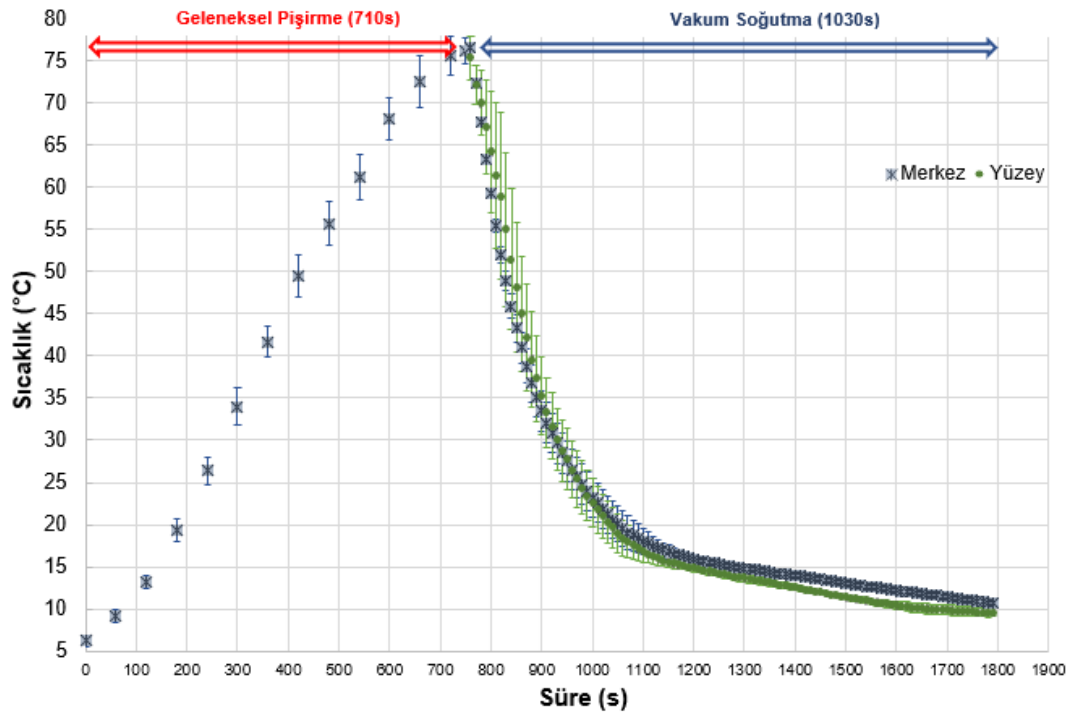
Şekil 4.6. Vakum altında 15 V/cm voltaj gradyanında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme ve vakum soğutma sırasında tavuk köftelerin merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim (Hata çubukları standart sapmayı ifade etmektedir.)



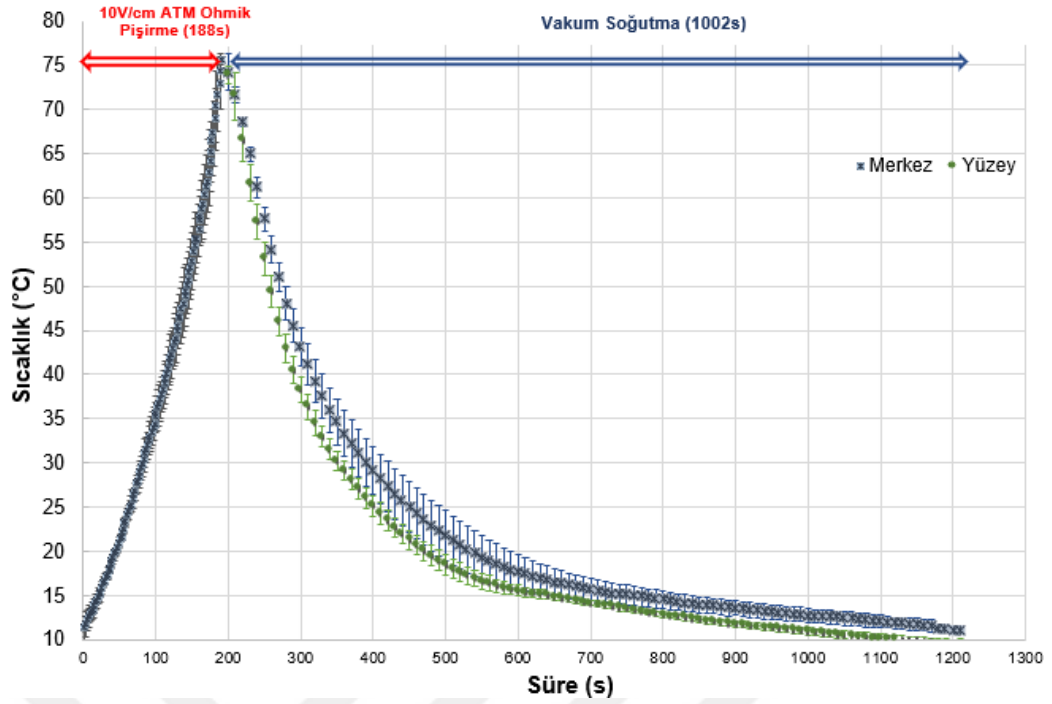
Şekil 4.7. Vakum altında 20 V/cm voltaj gradyanında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme ve vakum soğutma sırasında tavuk köftelerin merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim (Hata çubukları standart sapmayı ifade etmektedir.)

4.2.2. Sığır Eti Köfteleri

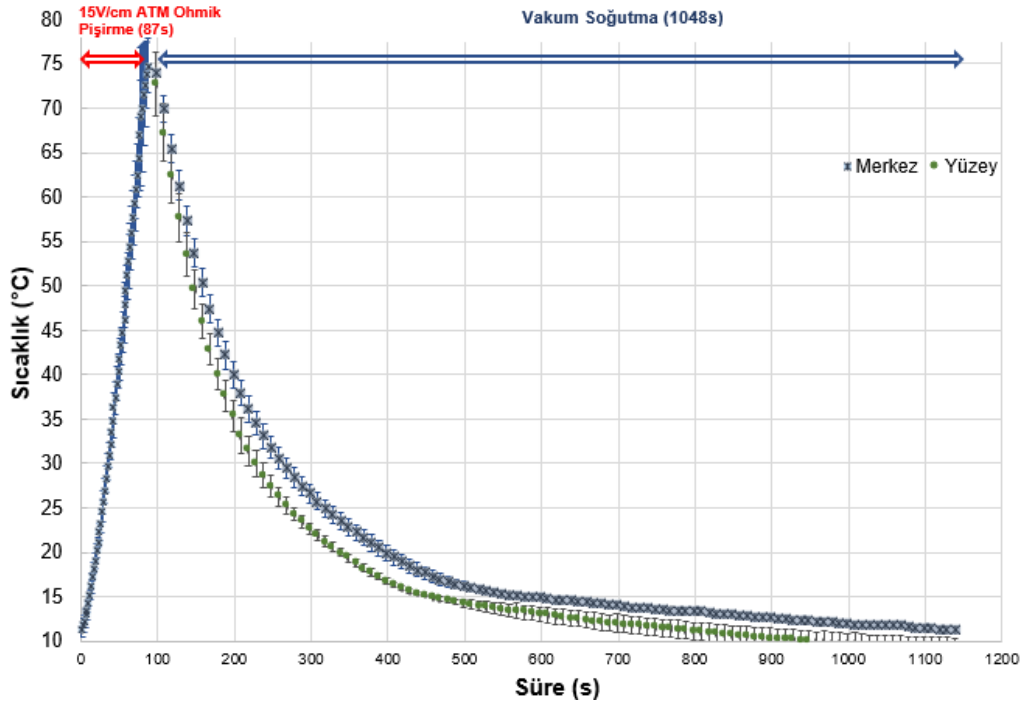
Sığır köftelerin geleneksel yöntemle ön pişirilmesi sırasında zamana bağlı sıcaklıklarındaki değişim Şekil 4.8’de sunulurken atmosfer basıncında 10, 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanlarında ohmik ısıtmalı ön pişirilmesine ait değişim sırasıyla Şekil 4.9, 4.10 ve 4.11’de sunulmuştur. Köftelerin vakum altında 10, 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanlarında ohmik ısıtmalı ön pişirilmesi sırasında zamana bağlı sıcaklıklarındaki değişim ise sırasıyla Şekil 4.12, 4.13 ve 4.14’te verilmiştir. Tavuk köftelerle benzer şekilde, atmosfer basıncında ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerinde merkez ve yüzey sıcaklıkları zamana bağlı olarak kısmen birbirinden farklı bir güzergâh izlerken, ohmik ısıtmanın vakum altında gerçekleştirilmesi köftelerin merkez ve yüzey sıcaklıklarını birbirine yaklaştırmıştır.



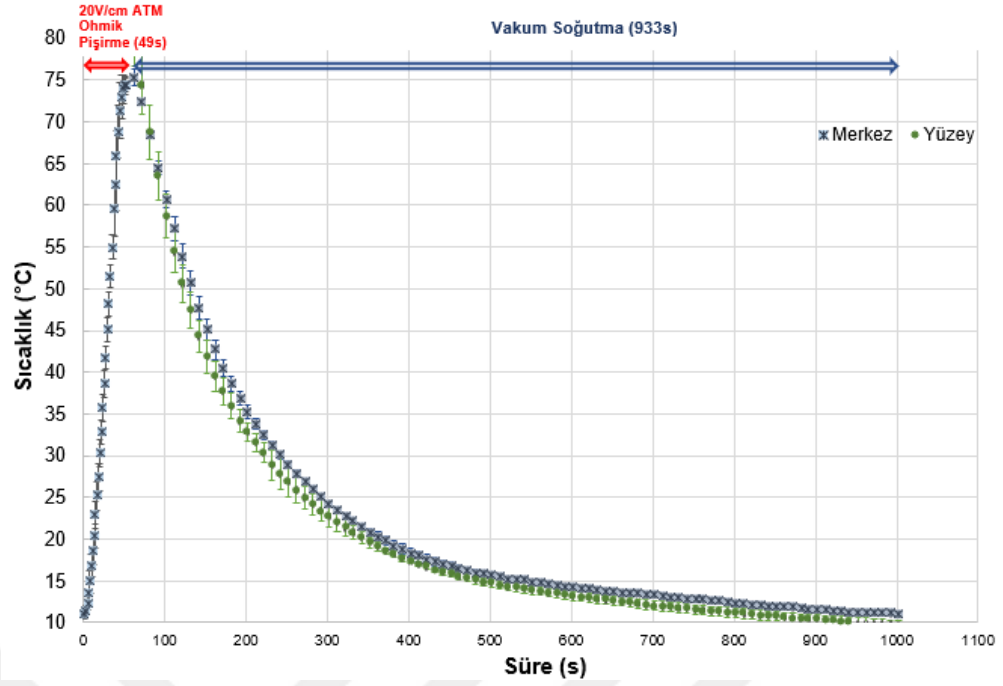
Şekil 4.8. Geleneksel ön pişirme ve vakum soğutma sırasında sığır köftelerin merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim (Hata çubukları standart sapmayı ifade etmektedir.)



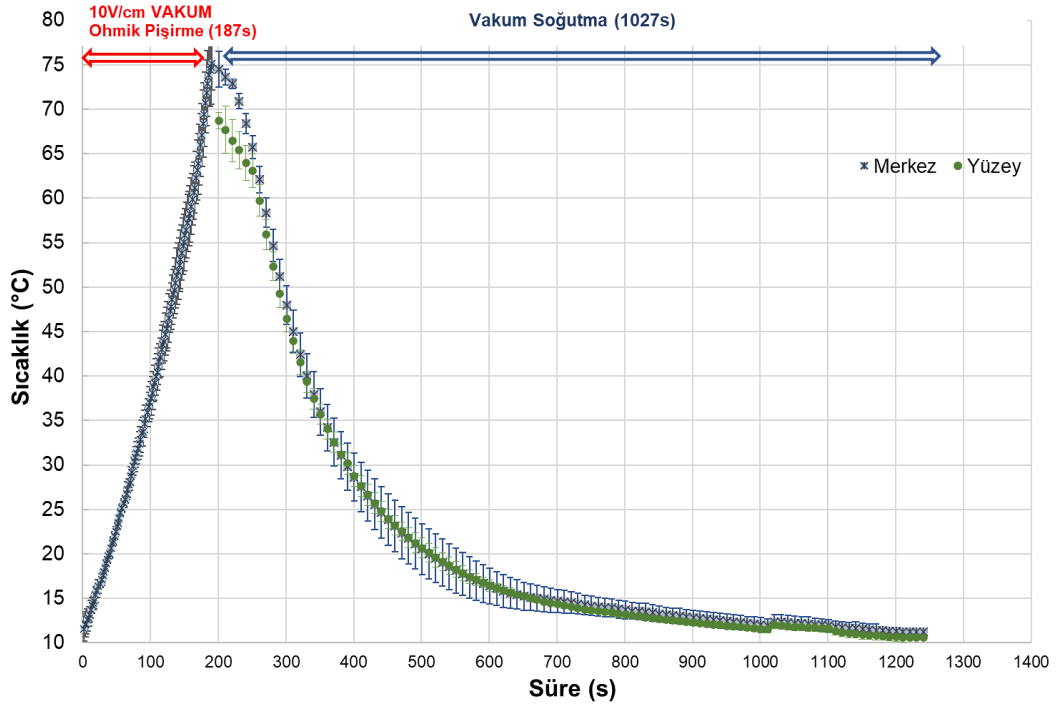
Şekil 4.9. Atmosfer basıncında 10 V/cm voltaj gradyanında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme ve vakum soğutma sırasında sığır köftelerinin merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim (Hata çubukları standart sapmayı ifade etmektedir.)



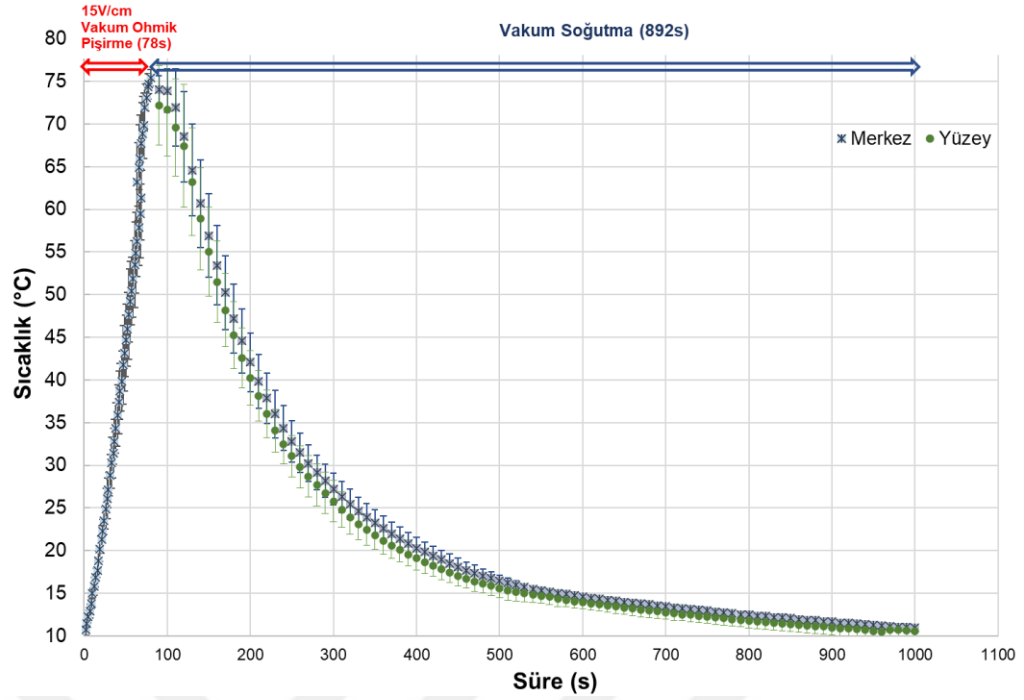
Şekil 4.10. Atmosfer basıncında 15 V/cm voltaj gradyanında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme ve vakum soğutma sırasında sığır köftelerinin merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim (Hata çubukları standart sapmayı ifade etmektedir.)



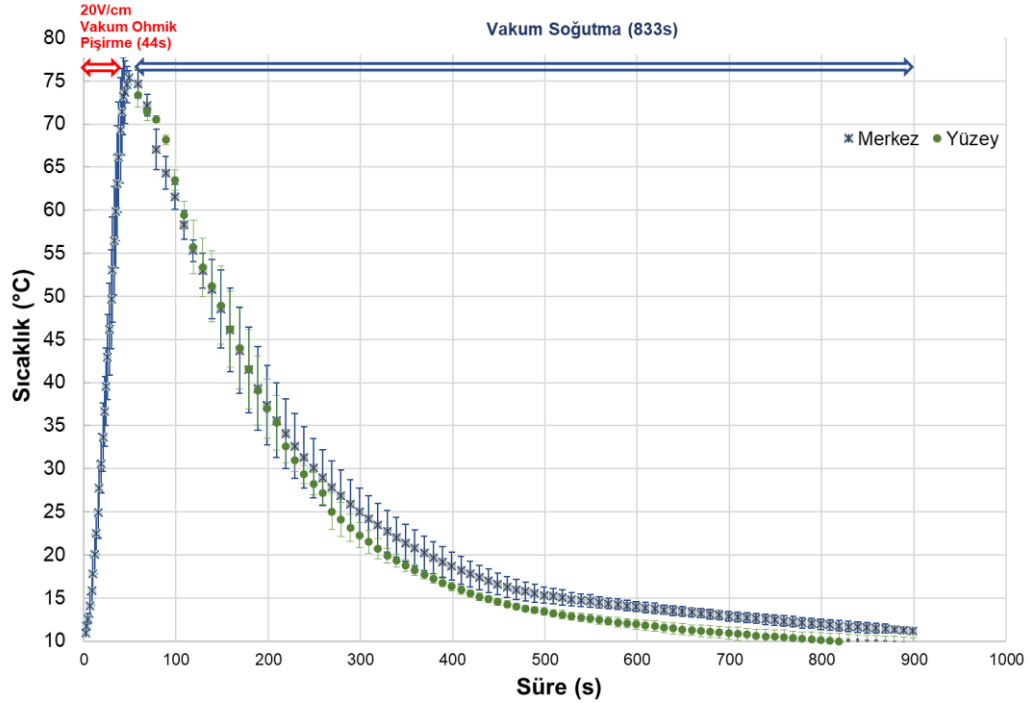
Şekil 4.11. Atmosfer basıncında 20 V/cm voltaj gradyanında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme ve vakum soğutma sırasında sığır köftelerin merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim (Hata çubukları standart sapmayı ifade etmektedir.)



Şekil 4.12. Vakum altında 10 V/cm voltaj gradyanında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme ve vakum soğutma sırasında sığır köftelerin merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim (Hata çubukları standart sapmayı ifade etmektedir.)



Şekil 4.13. Vakum altında 15 V/cm voltaj gradyanında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme ve vakum soğutma sırasında sığır köftelerinin merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim (Hata çubukları standart sapmayı ifade etmektedir.)



Şekil 4.14. Vakum altında 20 V/cm voltaj gradyanında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme ve vakum soğutma sırasında sığır köftelerinin merkez ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim (Hata çubukları standart sapmayı ifade etmektedir.)

4.3. Ön Pişirme ve Soğutma Sürelerine Ait Bulgular

4.3.1. Tavuk Eti Köfteleri

Farklı ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemine maruz bırakıldıktan sonra vakum soğutma yöntemiyle soğutulan tavuk köftelere ait ön pişirme, soğutma ve toplam işlem süreleri Çizelge 4.5'te özetlenmiştir. Geleneksel ön pişirme yönteminde pişirme işlemi yaklaşık 17,7 dakika sürmüştür ve ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemleri geleneksel yöntemle kıyasla oldukça kısa sürede (en az ~1 ve en çok 4,8 dakikada) tamamlanmıştır. Ön pişirme süreleri bakımından geleneksel yöntemle ohmik ısıtmalı ön pişirmeli işlemler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Hem atmosfer basıncı altında hem de vakum basıncı altında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerinde voltaj gradyanı arttıkça ön pişirme süreleri önemli düzeyde azalmıştır ($p<0,05$). Voltaj gradyanı olarak 15 ve 20 V/cm kullanıldığı ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerinde, işlemin vakum altında veya atmosfer basıncında gerçekleştirilmesinin tavuk köftelerin ön pişirme süresi üzerine etkisinin olmadığı görülmüştür ($p>0,05$). Voltaj gradyanı olarak 10 V/cm kullanıldığı ohmik ısıtmalı ön pişirme uygulamasında ise atmosfer basıncında ön pişirme süresi 239,3 s iken işlemin vakum altında yapılması süreyi 286,7 s'ye uzatmış ve ikisi arasındaki fark istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Tavuk köftelere ait vakum soğutma süreleri açısından ise ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemleri arasında önemli bir farklılık saptanmamış ($p>0,05$), voltaj gradyanı ile işlemin atmosfer veya vakum basıncında yapılması vakum soğutma süresini etkilememiştir.

Çizelge 4.5. Tavuk köftelerin ön pişirme, vakum soğutma ve toplam işlem süreleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi

Pişirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Ön Pişirme Süresi (s)	Soğutma Süresi (s)	Toplam İşlem Süresi (s)
Geleneksel	-	1066,67±23,09 ^{A*}	1143,33±83,86 ^A	2223,33±83,86 ^A
Atmosfer	10	239,33±1,53 ^C	1108,33±71,22 ^{AB}	1347,67±70,95 ^B
	15	98,00±8,72 ^D	1119,33±89,94 ^{AB}	1217,33±98,66 ^C
	20	56,67±1,15 ^E	992,66±20,53 ^{AB}	1049,33±20,82 ^D
Vakum	10	286,67±14,84 ^B	1106,33±35,08 ^{AB}	1393,00±26,46 ^B
	15	94,33±3,51 ^D	1116,66±66,43 ^{AB}	1211,00±69,28 ^C
	20	60,67±13,80 ^E	1050,33±78,93 ^B	1111,00±69,28 ^{CD}

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0,05$).

4.3.2. Sığır Eti Köfteleri

Farklı ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemine maruz bırakıldıktan sonra vakum soğutma yöntemiyle soğutulan sığır köftelere ait ön pişirme, soğutma ve toplam işlem

süreleri Çizelge 4.6’da sunulmuştur. Geleneksel ön pişirme yönteminde pişirme işlemi yaklaşık 11,8 dakika sürmüş ve ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemleri geleneksel yönteme kıyasla oldukça kısa sürede (en az 0,7 ve en fazla 3,1 dakika) tamamlanmıştır. Sığır köfteleri için de ön pişirme süreleri bakımından geleneksel yöntem ile ohmik ısıtmalı ön pişirmeli işlemler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$).

Her iki et türü için de köfte hamurlarının elektriksel iletkenlik değerlerinin maksimize edilmesi ve denemelerin maksimum iletkenlik değerini verecek yağ ve tuz içeriğine sahip köfte örneklerinde gerçekleştirilmesi sonucunda ohmik ısıtmalı ön pişirme ile hızlı bir ön pişirme sağlanabilmiştir (Çizelge 4.5 ve 4.6). Ohmik ısıtmalı ön pişirme sırasında voltaj gradyanındaki artış ile ön pişirme süreleri hem atmosfer hem de vakum basıncında gerçekleştirilen işlemlerde azalmıştır ($p<0,05$). Bu durum, üretilen ısı miktarının birim alandaki voltaj gradyanı tarafından indüklenen akımla doğrudan ilişkili oluşu ile açıklanabilir (Sasthy ve Li, 1996).

Çizelge 4.6. Sığır köftelerin ön pişirme, vakum soğutma ve toplam işlem süreleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi

Pişirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Ön Pişirme Süresi (s)	Soğutma Süresi (s)	Toplam İşlem Süresi (s)
Geleneksel	-	710,00±36,05 ^{A*}	1030,00±10,00 ^{AB}	1740,00±34,64 ^A
Atmosfer	10	187,67±2,31 ^B	1002,33±29,26 ^B	1190±26,46 ^B
	15	86,67±7,09 ^C	1048,00±2,65 ^A	1134,67±5,77 ^C
	20	48,67±3,51 ^D	933,33±31,50 ^C	982,00±34,64 ^D
Vakum	10	186,67±2,31 ^B	1027,67±13,61 ^{AB}	1214,33±15,28 ^B
	15	78,00±1,73 ^C	892,00±27,07 ^D	970,00±26,46 ^D
	20	44,00±4,52 ^D	833,33±28,36 ^E	882,33±28,87 ^E

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0,05$).

Çizelge 4.6’da yer alan aynı voltaj gradyanlarının kullanıldığı vakum altında ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerinde sığır köftelerine ait pişirme süreleri atmosfer basıncındaki sürelerle kıyasla biraz azalsa da farklılıklar istatistiksel anlamda önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$). Voltaj gradyanları olarak 15 ve 20 V/cm kullanıldığı vakum altında ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemleri için sığır köftelere ait vakum soğutma süreleri sırasıyla 892 ve 833 s olmuş ve bu değerler atmosfer koşullarında ön pişirmeye maruz bırakıldıktan sonra vakum soğutulan örneklere kıyasla düşmüş (sırasıyla 1048 ve 933 s) ve farklılıklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Bozkurt ve Icier (2010), farklı başlangıç yağ içeriklerine (%2-15) sahip silindirik kıyma örneklerine ohmik ısıtmalı pişirme (20, 30 ve 40 V/cm) ile geleneksel pişirme işlemlerini uygulamış, ohmik ısıtmalı pişirmenin diğer yöntemden daha hızlı tamamlandığını rapor etmiştir. Ayrıca,

voltaj gradyanının pişirme süresi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. En düşük yağ içeriğine (%2) sahip örnek geleneksel pişirmede 373 ± 3 s, 40 V/cm voltaj gradyanında ohmik ısıtmalı pişirmede 26 ± 2 s’de pişmiş ve ohmik ısıtmalı pişirme için gerekli sürenin geleneksel pişirmeye göre yaklaşık 3-13 kat daha kısa olduğu bildirilmiştir. Isı enerjisine dönüşen elektrik enerjisi voltaj gradyanına ve numuneden geçen akıma bağlı olduğundan, Bozkurt ve İcier (2010) tarafından gerçekleştirilen çalışmaya benzer olarak yüksek voltaj gradyanlarında sıcaklık artışı daha yüksek olmuştur. Şengün vd. (2014) sığır köftelerin merkez sıcaklığının 20°C’den 75°C’ye ulaşması için geçen pişirme süresini 15,26 V/cm voltaj değerinde 92 s olarak, pişirme kaybını ise %15,57 olarak rapor etmiştir.

4.4. Ön Pişirme ve Soğutma Kaybı, Verimi ve Çap Değişimine Ait Bulgular

4.4.1. Tavuk Eti Köfteleri

Farklı ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerinin tavuk köftelerin ön pişirme ve vakum soğutma kayıpları ile çap değişimi değerleri üzerine etkisi Çizelge 4.7’de sunulmuştur. Geleneksel ön pişirmede pişirme kaybı %11,05 olurken, ohmik ısıtmalı ön pişirme yöntemlerinde kayıplar %0,83 ve 5,65 aralığında geleneksel ön pişirmeye göre oldukça düşük bulunmuştur ($p < 0,05$). Buna bağlı olarak pişirme verimi değerlerinin ise yükseldiği ve farkın istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır ($p < 0,05$). Vakum altında gerçekleştirilen ohmik ısıtmalı ön pişirmede 20V/cm voltaj gradyanında tavuk köftelere ait pişirme veriminin (%99,17) diğer işlemlere kıyasla yüksek olduğu saptanmış ancak atmosfer basıncında gerçekleştirilen işlemle arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p > 0,05$). Et ürünlerinin pişirme kayıpları, ısıl işlem sırasında su ve yağ tutma yeteneğine bağlı olarak değişmektedir (Salcedo-Sandoval vd., 2014). Pişirme işlemindeki (nem ve yağ kaynaklı) ağırlık kayıplarını azaltarak köfte örneklerinin sululuğunu koruyan pişirme yöntemlerinin kullanılması avantajlı olduğundan, ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminin vakum altında uygulaması da bu konuda önemli bir potansiyele sahip olabilir.

Çizelge 4.7. Tavuk köftelerin ön pişirme ve vakum soğutma kaybı ile çap değişimi değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Piştirme Kaybı (%)	Piştirme Verimi (%)	Vakum Soğutma Kaybı (%)	Soğutma Verimi (%)	Çap Değişimi (%)
Geleneksel	-	11,05±1,88 ^{A*}	88,95±1,88 ^D	8,02±5,11 ^A	91,98±5,11 ^A	14,00±2,80 ^A
Atmosfer	10	5,65±0,83 ^B	94,36±0,83 ^C	6,81±1,48 ^A	93,19±1,48 ^A	7,80±0,53 ^B
	15	1,43±0,33 ^{DC}	98,57±0,33 ^B	9,27±0,37 ^A	90,73±0,37 ^A	5,13±1,03 ^{BCD}
	20	1,17±0,13 ^{DC}	98,83±0,13 ^{BA}	9,30±1,13 ^A	90,71±1,13 ^A	3,93±0,70 ^{CD}
Vakum	10	2,42±0,18 ^C	97,58±0,18 ^B	8,43±0,39 ^A	91,57±0,39 ^A	6,00±2,23 ^{BC}
	15	1,39±0,07 ^{DC}	98,61±0,07 ^{BA}	8,77±0,93 ^A	91,23±0,93 ^A	4,73±0,83 ^{CD}
	20	0,83±0,06 ^D	99,17±0,06 ^A	8,81±0,31 ^A	91,19±0,31 ^A	2,60±0,53 ^D

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0,05).

Tavuk köftelerinin vakum soğutma kaybı ve verimi değerlerinde ön pişirme yöntemi ve koşuluna göre önemli bir farklılık saptanmamıştır (p>0,05) (Çizelge 4.7). Çap değişimi değerleri incelendiğinde, geleneksel ön pişirilmiş köftelerin çap değişiminin (%14,00) oldukça yüksek olduğu, ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerine (%2,60-7,80 aralığında) kıyasla farkın önemli olduğu belirlenmiştir (p<0,05). Vakum altında gerçekleştirilen ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerinde atmosfer basıncı altındakilere kıyasla çap değişimleri azalmış fakat fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (p>0,05). Geleneksel ön pişirme uygulaması için köftelere ait çap değişimi, ohmik ısıtmalı uygulamalara kıyasla (10 V/cm voltaj gradyanında atmosfer koşulunda uygulanan ön pişirme hariç) iki kattan fazla bulunmuştur. Köfteler pişirme sırasında küçülme eğilimi göstermekte ve bu da et proteinlerinin denatürasyonu sonucunda, su ve yağ kaybı nedeniyle olmaktadır. Düşük pişirme verimi, pişirme sırasında dokudan fazla miktarda yağ ve suyun uzaklaşması ile ilişkili olup köftelerin pişirilmesi önemli boyutsal değişikliklere yol açabilmektedir (Serdaroglu vd., 2005). Ohmik ısıtmanın, köftelerin pişirilmesi sırasında pişirme öncesi boyutlarının korunmasında avantajlı bir pişirme yöntemi olduğu bildirilmiştir (Yildiz-Turp vd., 2013). Bozkurt ve İcier (2010) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, ohmik ısıtmalı pişirmede köftelerdeki hacim azalması (%5,36-6,97) geleneksel pişirmeye (%26,01-31,59) göre önemli ölçüde daha düşük bulunmuştur.

4.4.2. Sığır Eti Köfteleri

Farklı ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerinin sığır köftelerin ön pişirme ve vakum soğutma kayıpları ile çap değişimi değerleri üzerine etkisi Çizelge 4.8’de sunulmuştur. Geleneksel ön pişirmede pişirme kaybı %22,13 olurken, ohmik ısıtmalı ön pişirme yöntemlerinde kayıplar %8,40 ve 15,67 aralığında geleneksel ön pişirmeye göre oldukça

düşük bulunmuştur ($p<0,05$). Buna bağlı olarak pişirme verimi değerlerinin ise yükseldiği ve farkın istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır ($p<0,05$). Vakum altında 15 ve 20V/cm voltaj gradyanlarında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemleri için pişirme kaybı sırasıyla %9,95 ve 8,40 olurken, atmosfer basıncında uygulanan işlemdeki kayıplar sırasıyla %11,13 ve 11,75 olarak bulunmuş ancak farklılıklar istatistiksel açıdan önemsiz olmuştur ($p>0,05$). Sığır köfteleri için en yüksek pişirme verimi 20 V/cm voltaj değerinde vakum altında gerçekleştirilen ohmik ısıtmalı ön pişirme için saptanmış (%91,60), aynı voltaj gradyanında atmosfer koşulunda uygulanan işlem (%88,25) ile aralarındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$). Sığır köftelerinin vakum soğutma kaybı ve verimi değerleri üzerine ön pişirme yöntemi ve koşulunun etkisi önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$). Köftelerin çap değişimi değerleri arasında geleneksel ön pişirilmiş örneklerin çap değişimi %19,27 değeri ile en yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerinde köftelere ait çap değişimi %5,27 ve 9,20 aralığında hesaplanmıştır. Atmosfer basıncı altındaki ohmik ısıtmalı ön pişirme için voltaj gradyanı köftelerde çap değişimine etki etmezken ($p>0,05$) 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanları için vakum altında gerçekleştirilen ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerinde atmosfer basıncındakilere kıyasla köftelerdeki çap değişimi oranlarında önemli bir azalış saptanmıştır ($p<0,05$).

Çizelge 4.8. Sığır köftelerin ön pişirme ve vakum soğutma kaybı ile çap değişimi değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi

Pişirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Pişirme Kaybı (%)	Pişirme Verimi (%)	Vakum Soğutma Kaybı (%)	Soğutma Verimi (%)	Çap Değişimi (%)
Geleneksel	-	22,13±3,91 ^{A*}	77,87±3,91 ^D	12,36±1,68 ^A	87,64±1,37 ^A	19,27±2,08 ^A
Atmosfer	10	14,60±4,19 ^{BC}	85,40±4,19 ^{BC}	11,53±1,37 ^A	88,47±1,37 ^A	9,20±1,06 ^B
	15	11,13±1,13 ^{BCD}	88,87±1,13 ^{ABC}	13,03±2,11 ^A	86,97±2,11 ^A	9,13±1,03 ^B
	20	11,75±1,74 ^{BCD}	88,25±1,74 ^{ABC}	13,37±2,76 ^A	86,63±2,76 ^A	8,87±1,50 ^B
Vakum	10	15,67±3,07 ^B	84,33±3,07 ^C	10,42±0,85 ^A	89,58±0,85 ^A	7,60±1,44 ^{BC}
	15	9,95±1,24 ^{CD}	90,05±1,23 ^{AB}	13,71±3,99 ^A	86,29±3,99 ^A	5,67±0,31 ^{CD}
	20	8,40±3,46 ^D	91,60±3,46 ^A	11,18±1,65 ^A	88,82±1,65 ^A	5,27±0,50 ^D

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0,05$).

Pişirme sırasında sıcaklık etkisi, miyozin ve aktinin denatürasyonu ile miyofibriller proteinlerin yapısal değişikliklerine, sarkomerlerin kısalmasına ve kolajenin büzülmesine yol açarak kas liflerinden ve et dokusundan su kaybına neden olmaktadır (Murphy ve Marks, 2000). Lawrie (1998) tarafından belirli bir iç sıcaklığa hızlı pişirilen etin pişirme kaybı değerinin daha düşük olduğu ve aynı sıcaklıkta yavaş pişirilen ete göre daha sulu olduğu belirtilmiştir. Benzer şekilde, Pematilleke vd. (2021) pişirme sürelerindeki artışın

sığır etlerinde pişirme kaybında artışa neden olduğunu bildirmiştir. Çalışmamızda geleneksel ön pişirme işleminde köftelere ait pişirme kaybı değerlerinin ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerine kıyasla yüksek bulunmasının bir nedeni pişirme işleminin uzun sürmesi olabilir. Vakum altında ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemi, nispeten hızlı olması ile protein denatürasyonu ve miyofibrillerin büzülmesi için daha az süre yaratacağından diğer pişirme yöntemlerine göre daha az pişirme kaybına neden olabilmektedir (Shirsat vd., 2004b). Tian vd. (2016) sığır etinin yüksek voltajda kısa süre (4 dakika) pişirilmesi (%16,55) ile kıyaslandığında düşük voltajda uzun süre (13 dakika) ohmik ısıtmayla pişirilmesi için daha yüksek pişirme kaybı (%21,63) değerleri rapor etmiştir. Çalışmamızda, ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerinde, geleneksel ön pişirme işlemine kıyasla daha düşük pişirme kaybı oluşmuş ve neticesinde daha az çap değişimine neden olmuştur.

Pişirme kaybı, pişirme sırasında etten uzaklaşan sıvı ve çözünür madde kombinasyonundan oluşmaktadır. Pişirme kaybı, pişirme işlemi sonrasında etin teknolojik verimini belirlediğinden et endüstrisi için kritik bir ekonomik sorundur (Kondjoyan vd., 2013). Farklı pişirme sıcaklık ve sürelerinin sığır etinin pişirilmesinde kullanımının değerlendirildiği bir çalışmada (Pematilleke vd., 2021) artan pişirme sıcaklığı (65-85°C) ve süresinin (30-60 dakika) sığır etinin pişirme kaybını önemli seviyede artırdığı rapor edilmiştir. Çalışmada farklı koşullar için pişirme kaybı değerleri %15,62 ve 39,93 arasında belirlenmiştir. Araştırmacılar tarafından rapor edilen bu değerler çalışmamızda geleneksel ön pişirilmiş sığır köftede gerçekleşen ortalama pişirme kaybı değeri (%22,13) ile uyumludur. Dai vd. (2014), domuz eti üzerine ohmik ısıtmalı ve su banyosunda pişirmenin etkilerini incelemiş, ohmik ısıtmayla pişirilmiş etin pişirme kaybını geleneksel yöntemle pişirilmiş ürünlerden önemli ölçüde daha düşük belirlemiştir. Çiçek vd. (2014) tavuk, kuzu ve sığır eti örneklerinin pişirme kaybı değerinin %14,26 ve 21,32 aralığında olduğunu tespit etmiş ve en yüksek pişirme kaybı değerinin sığır etine ait olduğu bildirilmiştir. Çalışmada, et grupları arasındaki farklılıkların et türü, pH değeri, kas tipi ve et kompozisyonundaki farklılıklardan kaynaklanabileceği belirtilmiştir.

Vakum soğutma kaybı değerleri incelendiğinde (Çizelge 4.8) farklı ön pişirme yöntemleri arasında istatistiksel anlamda önemli bir fark saptanmamış ($p>0,05$) olup soğuma kaybı değerleri %10,42 ve 13,71 arasında değişmiştir. Vakum ve geleneksel soğutma ile soğutulan köftelerin mikrobiyal analizinin gerçekleştirildiği bir çalışmada (Mutlu Öztürk vd., 2017), vakum soğutma için kütle kaybı %9 olarak saptanmıştır.

Desmond vd. (2000) büyük pişmiş jambon parçalarını vakum soğutmuş, soğutma kaybını %11,3 olarak saptamıştır.

4.5. Toplam Kuru Madde ve Kül Tayinine Ait Bulgular

4.5.1. Tavuk Eti Köfteleri

Farklı koşullarda geleneksel ve ohmik ısıtmalı ön pişirilmiş tavuk köftelerin toplam kuru madde ve kül içerikleri Çizelge 4.9'da sunulmuştur. Çiğ köftelerin toplam kuru madde ve (kuru madde bazında) kül içerikleri sırasıyla %36,0 ve 8,5 iken, geleneksel ön pişirilmiş tavuk köftelerde bu değerler sırasıyla %40,0 ve 6,7 olarak bulunmuştur. Farklı koşullarda ohmik ısıtmalı ön pişirilmiş tavuk köftelerin toplam kuru madde içerikleri %37,6'dan %39,6'ya kadar değişirken, kül içerikleri ise %6,5 ve 7,7 aralığında değişmiştir. Vakum altında ohmik ısıtmalı ön pişirilmiş köftelerin toplam kuru madde içeriği biraz düşük olmasına rağmen, tüm ön pişirilmiş örneklerin toplam kuru madde içerikleri arasındaki fark istatistiksel anlamda önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$). Pişirme kaybına ait bulgular kısmında da belirtildiği üzere (Bölüm 4.4.1) uzun pişirme süresinin gıdada daha yüksek protein denatürasyonuna yol açtığı ve bu nedenle nem kaybının artabileceği bildirilmiştir (Lawrie, 1988). Geleneksel ön pişirme esnasında sayısal olarak daha yüksek toplam kuru madde içeriği değerlerinin görülmesi de bu durum ile açıklanabilir.

Çizelge 4.9. Tavuk köftelerin toplam kuru madde ve kül içerikleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi

Pişirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Toplam Kuru Madde İçeriği (%)	Kül İçeriği (%, km bazında)
Çiğ	-	35,95±1,70 ^{A*}	8,49±0,05 ^A
Geleneksel	-	39,99±2,63 ^A	6,69±0,36 ^{BC}
Atmosfer	10	39,61±0,79 ^A	6,71±0,06 ^{BC}
	15	38,69±0,66 ^A	7,01±0,16 ^{BC}
	20	38,13±0,70 ^A	6,46±1,38 ^C
Vakum	10	37,86±1,95 ^A	6,97±0,28 ^{BC}
	15	38,03±1,19 ^A	7,13±0,25 ^{BC}
	20	37,59±1,36 ^A	7,72±0,28 ^{AB}

*Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0,05$).

4.5.2. Sığır Eti Köfteleri

Farklı koşullarda geleneksel ve ohmik ısıtmalı ön pişirilmiş sığır köftelere ait toplam kuru madde ve kül içeriği değerleri Çizelge 4.10'da sunulmuştur. Çiğ köftelerin

toplam kuru madde ve (kuru madde bazında) kül içerikleri sırasıyla %36,4 ve 8,7 iken, geleneksel ön pişirilmiş köftelerde bu değerler sırasıyla %41,3 ve 5,4 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.10. Sığır köftelerin toplam kuru madde ve kül içerikleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi

Pişirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Toplam Kuru Madde İçeriği (%)	Kül İçeriği (%, km bazında)
Çiğ	-	36,36±1,75 ^{B*}	8,73±0,45 ^A
Geleneksel	-	41,33±2,87 ^A	5,44±0,26 ^E
Atmosfer	10	39,27±0,16 ^{AB}	7,28±0,18 ^{BC}
	15	38,68±0,46 ^{AB}	6,85±0,03 ^{CD}
	20	39,27±0,59 ^{AB}	7,25±0,04 ^{BCD}
Vakum	10	39,00±2,04 ^{AB}	7,42±0,23 ^{ABC}
	15	38,90±0,04 ^{AB}	6,90±0,22 ^{BCD}
	20	37,70±0,40 ^{AB}	7,93±0,14 ^{AB}

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0,05).

Farklı koşullarda ohmik ısıtım ile ön pişirilmiş sığır köftelerin toplam kuru madde içerikleri %37,7'den %39,3'e kadar değişirken, kül içerikleri ise %6,9 ve 7,9 aralığında değişmiştir. Sığır köftelerin (kuru madde bazında) kül içeriği sonuçları incelendiğinde en düşük kül içeriği geleneksel yöntemle pişirilmiş örnek (%5,44) için saptanmıştır (p<0,05). Atmosfer basıncında ohmik ısıtım ile ön pişirme işlemlerinde toplam kuru madde içeriği vakum basıncında uygulananlara göre sayısal anlamda daha yüksek belirlenmesine karşın, toplam kuru madde içeriği bakımından ön pişirilmiş köfte örnekleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark saptanmamıştır (p>0,05).

4.6. Ham Protein ve Yağ İçeriğine Ait Bulgular

4.6.1. Tavuk Eti Köfteleri

Farklı koşullarda ön pişirilmiş ve ardından vakum soğutulmuş tavuk köftelere ait protein ve yağ içeriği değerleri Çizelge 4.11'de gösterilmiştir. Ohmik ısıtım ile ön pişirme işleminin 10 V/cm voltaj gradyanında uygulaması sırasında, işlemin vakum basıncında gerçekleştirilmesi (%35,6) atmosfer basıncına (%29,1) kıyasla köfte örneklerinin protein içeriğinin daha yüksek oranda korunmasına yol açmıştır (p<0,05). Geleneksel ön pişirilmiş köftelere ait yağ içeriği %11,2 olurken vakum altında ohmik ısıtım ile ön pişirilmiş tavuk köftelerin yağ içeriği dar bir aralıkta (%11,9 ve 12,0) ve daha yüksek bulunmuştur (p<0,05).

Çizelge 4.11. Tavuk köftelerin protein ve yağ içeriği üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Protein İçeriği (%)	Yağ İçeriği (%)	Protein İçeriği (%, km bazında)	Yağ İçeriği (%, km bazında)
Çiğ	-	28,33±3,61 ^{B*}	12,31±0,10 ^A	83,89±10,70 ^{AB}	36,45±0,33 ^A
Geleneksel	-	30,18±0,24 ^{AB}	11,21±0,10 ^D	75,46±0,61 ^B	28,04±0,25 ^E
Atmosfer	10	29,08±0,45 ^B	11,78±0,21 ^{BC}	73,41±1,13 ^B	29,73±0,53 ^D
	15	29,82±3,27 ^{AB}	11,80±0,19 ^{BC}	77,08±8,46 ^B	30,49±0,49 ^{CD}
	20	33,09±2,90 ^{AB}	11,43±0,28 ^{CD}	86,79±7,60 ^{AB}	29,97±0,75 ^D
Vakum	10	35,56±0,11 ^A	11,94±0,16 ^{AB}	93,94±0,29 ^A	31,53±0,40 ^{BC}
	15	33,65±0,70 ^{AB}	11,93±0,16 ^{AB}	88,49±1,84 ^{AB}	31,37±0,40 ^{BC}
	20	31,30±3,23 ^{AB}	12,01±0,04 ^{AB}	83,26±8,59 ^{AB}	31,95±0,15 ^B

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0,05).

Geleneksel ön pişirilmiş örneklerde protein içeriği (%30,2), vakum altında ohmik ısıtmalı ön pişirme yöntemlerine maruz bırakılan köftelerin protein içeriğinden (%31,3-35,6 aralığında) sayısal olarak daha düşük bulunmuş ancak aralarındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır (p>0,05). Uzun ısıtma süreleri köfte örneklerinde daha fazla protein denatürasyonu ile su ve yağ kaybına neden olabilmektedir (Yildiz-Turp vd., 2016). Buradan yola çıkarak, mevcut çalışmada geleneksel ön pişirme işleminde daha uzun süre pişirilen köftelerin daha fazla yağ kaybına uğradığı, bunun da tekstürel ve duyuşsal analiz bulgularını etkileyebileceği tahmin edilmektedir.

4.6.2. Sığır Eti Köfteleri

Farklı koşullarda ön pişirilmiş ve ardından vakum soğutulmuş sığır köftelere ait protein ve yağ içeriği değerleri Çizelge 4.12’de gösterilmiştir. Geleneksel ön pişirilmiş köftelere ait yağ içeriği %9,5 olarak saptanırken, atmosfer ve vakum basıncı altında 20 V/cm voltaj gradyanında ohmik ısıtmalı ön pişirilmiş sığır köftelerdeki yağ içeriğinin (%10,5) daha yüksek olduğu bulunmuştur (p<0,05). Her iki basınç altında diğer voltaj gradyanlarında ohmik ısıtmalı ön pişirmeye maruz bırakılan sığır köftelerin yağ içeriği ile geleneksel ön pişirilmiş köftelerin yağ içeriği arasındaki fark istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur (p>0,05). Zell vd. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada çiğ sığır etinin nem, protein ve yağ içerikleri sırasıyla %72,79, 23,21 ve 2,80 olarak bulunmuş ve ohmik ısıtmalı veya geleneksel yöntemle pişirilmiş sığır etinin ise nem, protein ve yağ içerikleri sırasıyla %68,30-70,64, %25,72-28,27 ve %2,66-2,87 aralıklarında rapor edilmiştir. Aynı çalışmada et emülsiyonunun yağ içeriği %12,17 olarak saptanmış olup elde edilen bulgular literatür ile uyumludur.

Çizelge 4.12. Sığır köftelerin protein ve yağ içeriği üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Protein İçeriği (%)	Yağ İçeriği (%)	Protein İçeriği (%, km bazında)	Yağ İçeriği (%, km bazında)
Çiğ	-	30,50±3,89 ^{B*}	12,12±0,17 ^A	83,89±10,70 ^A	33,33±0,47 ^A
Geleneksel	-	35,33±2,57 ^A	9,45±0,34 ^C	85,49±6,22 ^A	22,86±0,83 ^E
Atmosfer	10	34,44±0,31 ^{AB}	10,13±0,04 ^{BC}	87,70±0,78 ^A	25,78±0,09 ^{BCD}
	15	31,82±0,36 ^{AB}	9,51±0,10 ^C	82,25±0,93 ^A	24,59±0,25 ^C
	20	32,51±0,06 ^{AB}	10,48±0,03 ^B	82,77±0,16 ^A	26,68±0,07 ^{BC}
Vakum	10	33,89±0,09 ^{AB}	9,85±0,04 ^{BC}	86,30±0,23 ^A	25,06±0,09 ^{CD}
	15	32,74±0,22 ^{AB}	10,12±0,10 ^{BC}	83,93±0,57 ^A	25,95±0,26 ^{BCD}
	20	32,56±1,29 ^{AB}	10,51±0,71 ^B	83,69±3,33 ^A	27,01±1,83 ^B

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0,05).

4.7. Su Tutma Kapasitesi ve Su Aktivitesine Ait Bulgular

4.7.1. Tavuk Eti Köfteleri

Farklı koşullarda ön pişirilmiş ve ardından vakum soğutulmuş tavuk köfte örneklerine ait su tutma kapasitesi (STK) ve su aktivitesi (aw) değerleri Çizelge 4.13'te gösterilmiştir. Su tutma kapasitesi, çiğ etin işleme sırasında su tutma kabiliyeti olarak tanımlanan, etlerde pişme kaybının yanı sıra duyuşal özelliklerinde büyük etki yaratan önemli bir özelliktir (Zheng vd., 2018). Tavuk köfte hamurlarının (çiğ köfte) STK değeri 0,03 g su/ g et olarak belirlenmiş iken ohmik ve geleneksel ön pişirme işlemlerinden sonra köftelerin STK değerinin 0,41'in üzerine çıktığı gözlenmiştir (p<0,05). Ancak her iki basınç altında farklı voltaj gradyanlarındaki ohmik ısıtmalı ön pişirme uygulamalarına maruz bırakılan köftelerin STK değerleri arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark saptanmamıştır (p>0,05). Ángel-Rendón (2020) tarafından yapılan bir çalışmada domuz eti 70°C merkez nokta sıcaklığına 2,0, 2,5 ve 3,0 dakikalık 21±1 V/cm'lik elektrik alan şiddeti ile ohmik ısıtmalı ön pişirme ve 13 dakika süren geleneksel tavada pişirme ile pişirilmiş ve bu işlemler karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, ohmik ısıtmalı ön pişirme süresi arttıkça örneklerin STK değerlerinde azalma eğilimi olduğunu göstermiştir. Çalışmamızda, pişirme yönteminin tavuk köftelerin aw değerleri üzerinde önemli bir etkisi bulunmamıştır (p>0,05).

Çizelge 4.13. Tavuk köftelerin su tutma kapasitesi (STK) ve su aktivitesi (aw) değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	STK (g su/g et)	Su Aktivitesi
Çiğ	-	0,03±0,00 ^{B*}	0,95±0,00 ^A
Geleneksel	-	0,41±0,04 ^A	0,92±0,01 ^B
Atmosfer	10	0,43±0,07 ^A	0,93±0,01 ^B
	15	0,42±0,06 ^A	0,93±0,02 ^B
	20	0,42±0,01 ^A	0,93±0,01 ^B
Vakum	10	0,44±0,06 ^A	0,93±0,01 ^B
	15	0,44±0,05 ^A	0,93±0,01 ^B
	20	0,43±0,02 ^A	0,93±0,01 ^B

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0,05).

4.7.2. Sığır Eti Köfteleri

Farklı koşullarda ön pişirilmiş ve ardından vakum soğutulmuş sığır köfte örneklerine ait STK ve aw değerleri Çizelge 4.14'te gösterilmiştir. Sığır köfte hamurlarının (çiğ köfte) STK değeri 0,15 g su/ g et olarak belirlenmiş iken ohmik ısıtmalı ve geleneksel ön pişirme işlemlerinden sonra köftelerin STK değerinin 0,40'ın üzerine çıktığı gözlenmiştir (p<0,05). Ancak, tavuk köftelerin STK değerlerine benzer şekilde, her iki basınç altında farklı voltaj gradyanlarındaki ohmik ısıtmalı ön pişirme uygulamalarına maruz bırakılan sığır köftelerin STK değerleri arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark saptanmamıştır (p>0,05). Piştirme türünün köftelerin aw değerleri üzerinde genel olarak önemli bir etkisi olmamakla birlikte, vakum altında 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanlarındaki ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemi sığır köfte örneklerinin aw değerlerinde azalmaya neden olmuştur (p<0,05). McDonald vd. (2002) tarafından vakum soğutulan pişmiş sığır etinin aw değeri 0,96 olarak; aw değerlerinin 0,98 ve 0,99 olarak saptandığı diğer soğutma tekniklerine göre (durgun havada, hava üfleli ve daldırma soğutma) düşük bulunmuş; aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli olmuştur. Su aktivitesi, suyun uzaklaştırılmasıyla ve aynı zamanda çözünen maddelerin konsantrasyonunun artması ile azaltılabilmektedir (Lombard vd., 2008). Buradan yola çıkarak daha düşük aw değeri, vakum altında gerçekleştirilen ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerinde nispeten daha az pişirme kaybı ile çözünen bileşenlerin dokuda daha fazla tutulması ile ilişkilendirilebilir.

Çizelge 4.14. Sığır köftelerin su tutma kapasitesi (STK) ve su aktivitesi (a_w) değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	STK (g su/g et)	Su Aktivitesi
Çiğ	-	0,15±0,00 ^{B*}	0,95±0,01 ^A
Geleneksel	-	0,41±0,08 ^A	0,94±0,01 ^A
Atmosfer	10	0,41±0,07 ^A	0,94±0,01 ^A
	15	0,41±0,08 ^A	0,94±0,01 ^A
	20	0,41±0,05 ^A	0,94±0,01 ^A
Vakum	10	0,41±0,07 ^A	0,95±0,01 ^A
	15	0,40±0,09 ^A	0,91±0,01 ^C
	20	0,40±0,04 ^A	0,92±0,02 ^B

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0,05$).

4.8. pH Değerlerinin Depolama ile Değişimine Ait Bulgular

4.8.1. Tavuk Eti Köfteleri

Farklı ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerine maruz bırakılarak pişirilmiş ve vakum soğutulmuş tavuk köftelerin soğukta depolanması (+4°C) sırasında pH değerlerindeki değişim Çizelge 4.15'te, dondurarak depolama (-18°C) sırasındaki değişim Çizelge 4.16'da verilmiştir. Ön pişirilmiş ve vakum soğutulmuş tavuk köftelerin pH değerleri çiğ örneğe (pH 6,12) kıyasla daha yüksek bulunmuş ($p<0,05$), ohmik ısıtmalı ön pişirmenin gerçekleştirildiği voltaj ve basınca göre köftelerin pH değerleri genel olarak birbirine yakın bulunmuştur. Literatürde pişmiş et hamurunun pH değerinin, çiğ köfte hamuruna göre daha yüksek olduğunu bildiren çalışmalar mevcuttur (Choi vd., 2009, 2010; Şengün, 2014). Soğukta depolamayla birlikte örneklerin pH değerleri az da olsa artış göstermiştir. Vakum altında 20 V/cm voltaj gradyanında gerçekleştirilen ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemi hariç diğer pişirme koşulları için 1. ve 21. gün arasında pH değerlerinde istatistiksel olarak önemli bir artış gözlenmiştir ($p<0,05$).

Yang ve Chen (1993) benzer olarak pişmiş tavuk kıymasının pH değerlerini (+3°C'de) soğukta depolama sırasında inceledikleri çalışmalarında artan depolama süresi ile örneklerin pH değerinin arttığını saptamıştır. Düşük voltaj ohmik ısıtmalı çözüldürmenin domuz etinin fizikokimyasal özellikleri üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada (Hong vd., 2011), artan voltaj gradyanları pH değerlerinde önemli farklılıklar oluşturmamıştır. Dondurarak depolama sırasında tavuk köftelerin pH değerleri 6,32 ile 6,41 aralığında belirlenmiş ve depolama süresinin köftelerin pH değeri üzerine etkisi genel olarak önemli olmamıştır (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.15. Tavuk köftelerin pH değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın (+4°C) etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Depolama Süresi (gün)	pH
Çiğ	-	-	6,12±0,01 ^{K*}
Geleneksel	-	1	6,54±0,00 ^{F-I}
		7	6,62±0,02 ^{ABC}
		14	6,64±0,04 ^{AB}
		21	6,66±0,05 ^A
Atmosfer	10	1	6,58±0,00 ^{C-G}
		7	6,54±0,03 ^{F-I}
		14	6,59±0,05 ^{C-G}
		21	6,66±0,01 ^A
	15	1	6,47±0,00 ^J
		7	6,55±0,02 ^{E-H}
		14	6,58±0,01 ^{C-G}
		21	6,64±0,06 ^{AB}
	20	1	6,50±0,00 ^{HIJ}
		7	6,58±0,01 ^{C-G}
		14	6,57±0,01 ^{C-G}
		21	6,62±0,01 ^{ABC}
Vakum	10	1	6,49±0,03 ^{IJ}
		7	6,56±0,00 ^{D-G}
		14	6,59±0,04 ^{B-F}
		21	6,60±0,01 ^{B-E}
	15	1	6,54±0,00 ^{F-I}
		7	6,56±0,04 ^{D-G}
		14	6,60±0,01 ^{B-E}
		21	6,61±0,02 ^{A-D}
	20	1	6,54±0,01 ^{GHI}
		7	6,59±0,02 ^{C-G}
		14	6,59±0,00 ^{B-F}
		21	6,57±0,04 ^{C-G}

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0,05).

Çiçek vd. (2014) soğukta bir hafta boyunca muhafaza edilen vakum paketli tavuk, kuzu ve sığır etlerinin fizikokimyasal özelliklerini inceledikleri çalışmada, sığır eti örneklerinin en düşük pH değerine, tavuk eti örneklerinin ise en yüksek pH değerine sahip olduğunu saptamıştır. Depolama başlangıcına kıyasla tavuk ve kuzu etlerinin pH değeri depolamanın 7. günde artma eğilimi göstermiş (p<0,05) ve 7. günde tavuk etlerinin pH değeri 6,28 olarak ölçülmüştür. Depolama sürecinde görülen pH artışı, eksojen ve endojen proteolitik enzim aktivitesi ürünleri olan protein olmayan azotlu bileşen miktarındaki artışın bir sonucu olabilir (Ensoy, 2004).

Çizelge 4.16. Tavuk köftelerin pH değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Depolama Süresi (gün)	pH
Geleneksel	-	30	6,40±0,01 ^{A*}
		60	6,40±0,01 ^A
Atmosfer	10	30	6,39±0,01 ^B
		60	6,33±0,01 ^{CDE}
	15	30	6,41±0,01 ^B
		60	6,32±0,03 ^{DEF}
	20	30	6,39±0,06 ^{BC}
		60	6,31±0,01 ^{FG}
Vakum	10	30	6,34±0,01 ^{CD}
		60	6,32±0,03 ^{EF}
	15	30	6,41±0,01 ^{FG}
		60	6,33±0,04 ^{EF}
	20	30	6,39±0,01 ^G
		60	6,33±0,01 ^{D-G}

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0,05).

4.8.2. Sığır Eti Köfteleri

Farklı ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerine maruz bırakılarak pişirilmiş ve vakum soğutulmuş sığır köftelerin soğukta depolanması (+4°C) sırasında pH değerlerindeki değişim Çizelge 4.17’de, dondurarak depolama (-18°C) sırasındaki değişim Çizelge 4.18’de verilmiştir. Ön pişirilmiş ve vakum soğutulmuş sığır köftelerin pH değerleri çiğ örneğe (pH 6,03) kıyasla daha yüksek bulunmuş (p<0,05), ohmik ısıtmalı ön pişirmenin gerçekleştirildiği voltaj ve basınca göre köftelerin pH değerleri genel olarak birbirine yakın bulunmuştur. Vakum altında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminde soğukta 14 ve 21 gün depolanmış sığır etlerinin pH değerleri atmosfer basıncı altında ön pişirilen sığır köftelerinin pH değerlerinden daha düşük olmuştur (p<0,05). Çizelge 4.17 ve 4.18 incelendiğinde, aynı depolama günü için sığır köftelerin pH değerlerinde genel olarak ohmik ısıtmalı ön pişirmenin gerçekleştirildiği voltaj ve basınca göre önemli bir fark saptanmamıştır (p>0,05).

Çizelge 4.17. Sığır köftelerin pH değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın (+4°C) etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Depolama Süresi (gün)	pH
Çiğ	-	-	6,03±0,03 ^{H*}
Geleneksel	-	1	6,21±0,01 ^{B-G}
		7	6,23±0,02 ^{BCD}
		14	6,23±0,02 ^B
		21	6,30±0,04 ^A
Atmosfer	10	1	6,18±0,01 ^G
		7	6,19±0,02 ^{EFG}
		14	6,21±0,01 ^{B-G}
		21	6,22±0,01 ^{B-E}
	15	1	6,20±0,01 ^{D-G}
		7	6,21±0,01 ^{B-G}
		14	6,21±0,01 ^{B-G}
		21	6,23±0,02 ^{BC}
	20	1	6,22±0,09 ^{B-E}
		7	6,19±0,02 ^{FG}
		14	6,21±0,03 ^{B-G}
		21	6,22±0,02 ^{B-F}
Vakum	10	1	6,20±0,02 ^{D-G}
		7	6,20±0,01 ^{C-G}
		14	6,19±0,02 ^{FG}
		21	6,21±0,02 ^{B-F}
	15	1	6,18±0,03 ^G
		7	6,20±0,02 ^{B-G}
		14	6,20±0,01 ^{B-G}
		21	6,20±0,01 ^{B-G}
	20	1	6,18±0,02 ^G
		7	6,20±0,02 ^{B-G}
		14	6,20±0,01 ^{B-G}
		21	6,21±0,02 ^{B-G}

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0,05).

Çiçek vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada tavuk örneklerinin depolama sürecinde pH değerleri 5,72-6,28 aralığında iken sığır eti örneklerinin 5,24-5,55 aralığında saptanmış olup çalışmamızdaki bulgularla benzerdir. Dondurarak depolama sırasında sığır köftelerin pH değerleri 6,03 ile 6,29 aralığında belirlenmiş ve geleneksel ön pişirilmiş örneklerin pH değerlerinin diğer ohmik ısıtmalı ön pişirme işlem koşullarına kıyasla yüksek olduğu saptanmıştır (p<0,05) (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.18. Sığır köftelerin pH değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi

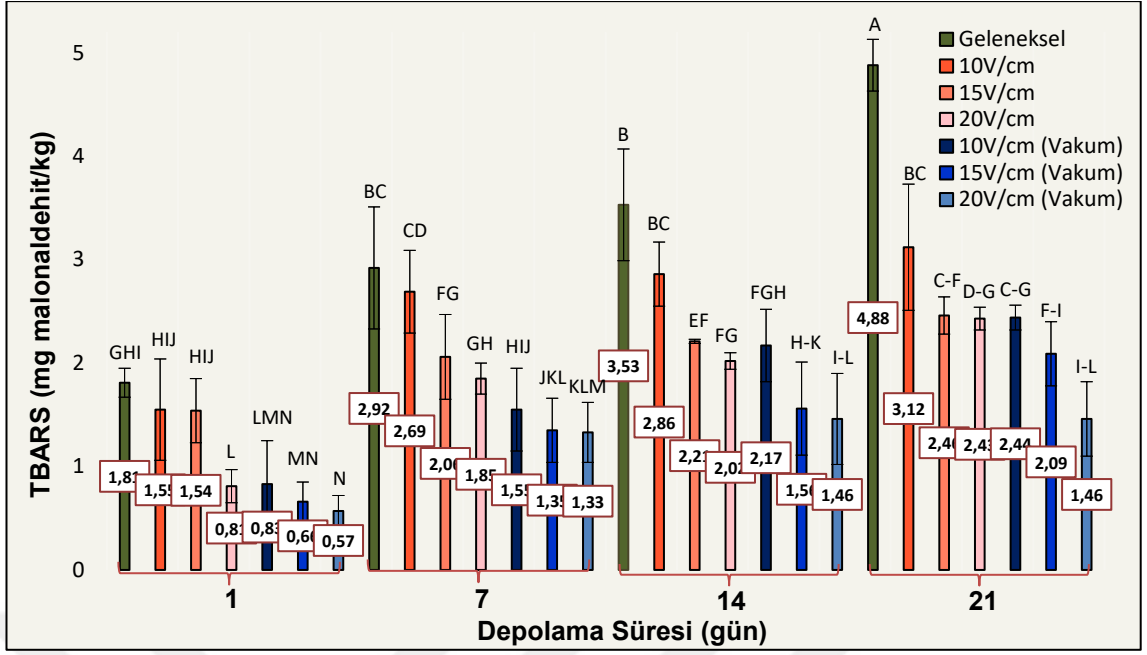
Piştirme Türü/Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Depolama Süresi (gün)	pH
Geleneksel	-	30	6,26±0,03 ^{A*}
		60	6,29±0,01 ^A
Atmosfer	10	30	6,20±0,00 ^B
		60	6,11±0,01 ^{CDE}
	15	30	6,19±0,01 ^B
		60	6,10±0,01 ^{EF}
	20	30	6,17±0,01 ^{BC}
		60	6,05±0,01 ^{FG}
Vakum	10	30	6,13±0,01 ^{CD}
		60	6,07±0,05 ^{EFG}
	15	30	6,05±0,01 ^{FG}
		60	6,06±0,06 ^{EFG}
	20	30	6,03±0,06 ^G
		60	6,08±0,01 ^{D-G}

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0,05).

4.9. TBARS Değerlerinin Depolama ile Değişimine Ait Bulgular

4.9.1. Tavuk Eti Köfteleri

Farklı ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminin tavuk köfte örneklerine ait TBARS değerleri üzerine 21 günlük soğukta depolamanın (+4°C) etkisi Şekil 4.15'te sunulmuştur. Tavuk köfte örneklerine ait TBARS değerleri 0,57-4,88 mg malonaldehit (MA)/kg arasında saptanmıştır. En düşük TBARS değeri (0,57 mg MA/kg) her dört depolama günü için de 20 V/cm voltaj gradyanında vakum altında ohmik ön pişirilmiş köftelerde saptanmış ancak fark vakum altında ohmik ısıtmalı ön pişirmenin 15 V/cm voltaj gradyanına göre istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (p>0,05). En yüksek TBARS değeri (4,88 mg MA/kg) ise geleneksel yöntem kullanılarak ön pişirilmiş köfteler için tespit edilmiş ancak değerler depolamanın 1., 7. ve 14. günleri için atmosfer basıncında 10 V/cm voltaj gradyanında ohmik ısıtmalı ön pişirilmiş köfteler ile benzer bulunmuştur (p>0,05). Vakum altında ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminde TBARS değerleri, 21. gündeki 10 ve 15 V/cm voltaj gradyanı hariç, atmosfer basıncında ohmik ısıtmalı ön pişirme ve geleneksel ön pişirmeye kıyasla dört farklı depolama günü için de önemli ölçüde düşmüştür (p<0,05).



Şekil 4.25. Tavuk köfte örneklerine ait TBARS değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın (+4°C) etkisi (Sütunlar üzerindeki farklı harfler örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p < 0,05$)).

Farklı ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminin tavuk köfte örneklerine ait TBARS değerleri üzerine 30 ve 60 gün dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi Çizelge 4.19’da sunulmuştur. Dondurarak (-18°C) depolama sırasında depolama süresi köftelerin TBARS değerlerinde önemli bir artışa neden olmamıştır ($p > 0,05$). Geleneksel ön pişirme ile 10 V/cm voltaj gradyanında atmosfer basıncında ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemine maruz bırakılan tavuk köftelerde, TBARS değerleri her iki depolama süresi (30 ve 60 gün) göz önüne alındığında 1,84-1,99 mg MA/kg aralığında belirlenmiştir. Bu değerlerin, diğer ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerine maruz bırakılıp depolanan örneklerin 1,29-1,47 mg MA/kg aralığındaki TBARS değerlerinden daha yüksek olduğu saptanmıştır ($p < 0,05$). Ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminin vakum altında gerçekleştirilmesi dondurarak depolanan köfte örneklerinin TBARS değerlerini (uygulanan voltaj gradyanına bağlı olmak koşuluyla) atmosfer basıncındaki işleme göre azaltmıştır. Bu açıdan, daha düşük lipid oksidasyonu değerleri ile raf ömrünün uzatılabilmesinde vakum altında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerinin avantaj sağlayabilecek niteliktedir. Parvin (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, tavada kızartılan köftelerde, haşlama ve konveksiyonlu fırında pişirmeye göre önemli ölçüde daha düşük TBARS değerleri rapor edilmiştir. Et ürünlerine ısı uygulaması pişirme yöntemi, pişirme sıcaklığı, pişirme süresi ve merkez son sıcaklığının etkisi dahil olmak üzere çeşitli şekillerde oksidatif ransidite gelişimini

etkileyebilmekte ve pişirme işlemi sığır köftelerinde TBARS oluşumunu depolama süresi boyunca önemli düzeyde arttırabilmektedir (Wills vd., 2006).

Çizelge 4.19. Tavuk köfte örneklerine ait TBARS değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Depolama Süresi (gün)	TBARS (mg malonaldehit/kg)
Geleneksel	-	30	1,99±0,12 ^{A*}
		60	1,98±0,05 ^A
Atmosfer	10	30	1,84±0,04 ^A
		60	1,89±0,13 ^A
	15	30	1,44±0,21 ^B
		60	1,47±0,18 ^B
	20	30	1,32±0,14 ^B
		60	1,40±0,03 ^B
Vakum	10	30	1,35±0,10 ^B
		60	1,33±0,04 ^B
	15	30	1,32±0,12 ^B
		60	1,34±0,04 ^B
	20	30	1,29±0,08 ^B
		60	1,31±0,04 ^B

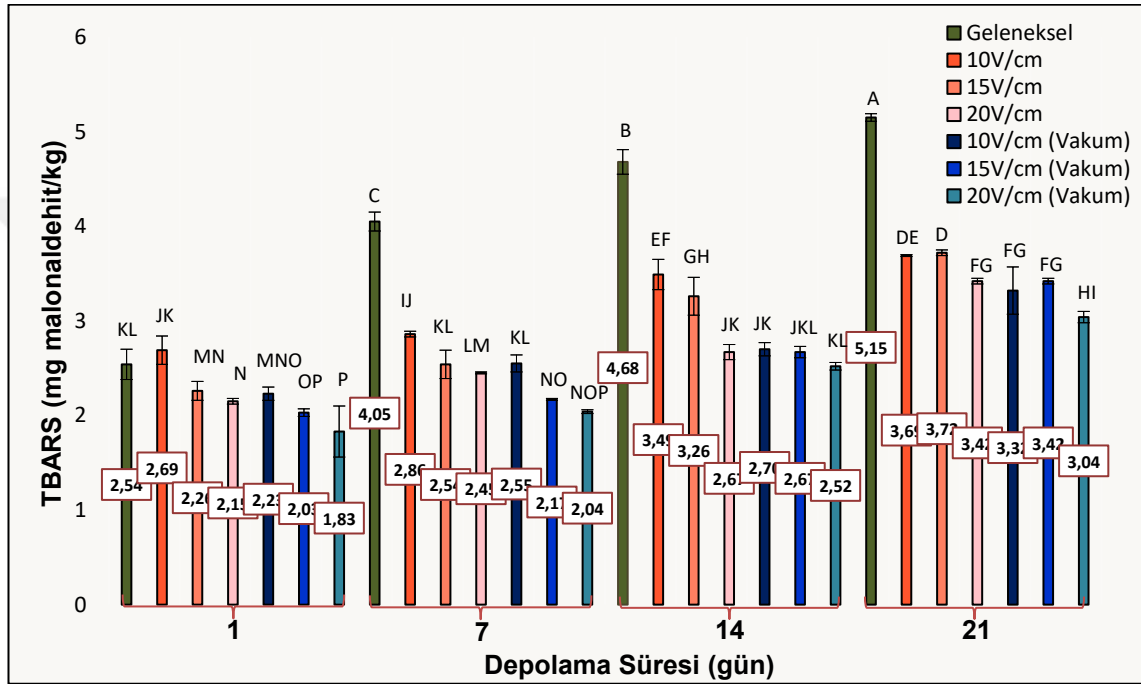
* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0,05).

Et ürünlerinin tüketilmeden önce yüksek sıcaklıkta pişirilmesi, lipid oksidasyon sürecini hızlandırarak pişmiş ürünlerin TBARS değerlerini artırmaktadır. Ohmik ısıtımali ön pişirme yöntemi, protein ve ete ait diğer besin öğelerine zarar verebilecek geleneksel pişirme işlemine kıyasla sürenin kısaltılması için kullanılmakta, böylelikle besinsel kayıpların oluşma olasılığı azaltılabilmektedir (Yu vd., 2017). Lipit oksidasyonu da kalite kaybına sebep olan etkenlerden biri olup ohmik ısıtımali ön pişirme sırasında azalan ısı işlem süreleri neticesinde azaldığı düşünülmektedir. Vaudagna (2002) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, sığır etleri farklı sous vide (düşük sıcaklıkta uzun süre pişirme) parametreleri kullanılarak pişirilmiş ve etlerin fiziksel özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Sous vide tekniğinde saptanan maksimum TBARS değerlerinin, atmosfer koşullarında pişirilmiş etten daha düşük olduğu rapor edilmiştir.

4.9.2. Sığır Eti Köfteleri

Farklı ohmik ısıtımali ön pişirme işleminin sığır köftelerine ait TBARS değerleri üzerine 21 günlük soğukta depolamanın (+4°C) etkisi Şekil 4.16'da verilmiştir. Depolamanın ilk gününde sığır köfte örneklerine ait TBARS değerleri 1,83-2,69 mg MA/kg arasında saptanmış iken 21 günlük soğukta depolama sonunda bu aralık 3,04-5,15 mg MA/kg değerine yükselmiştir. Soğukta depolama süresi ve pişirme yöntemlerinin

sığır köftelerinin TBARS değerleri üzerindeki etkileri istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Depolamanın ilk gününde geleneksel ön pişirme işlemine maruz bırakılan sığır köftenin TBARS değeri 2,54 mg MA/kg olarak, atmosfer basıncında 10 V/cm voltaj gradyanında ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemi uygulanan köftelerinki (2,69 mg MA/kg) ile benzer bulunmuştur ($p>0,05$). Geleneksel ön pişirme işleminden elde edilen TBARS değeri diğer ön pişirme işlemine maruz bırakılan köftelere (1,83-2,26 mg MA/kg aralığında) göre daha yüksek bulunmuştur ($p<0,05$).



Şekil 4.36. Sığır köfte örneklerine ait TBARS değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın (+4°C) etkisi (Sütunlar üzerindeki farklı harfler örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0,05$)).

Farklı ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminin sığır köftelerin TBARS değerleri üzerine dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi ise Çizelge 4.20’de gösterilmiştir. Dondurarak depolanan sığır eti köftelerinde en yüksek TBARS değerleri geleneksel ve 10 V/cm voltaj gradyanında ohmik ısıtmalı ön pişirilmiş örneklerde (2,65-2,75 mg MA/kg aralığında) saptanmıştır ($p<0,05$). En düşük TBARS değerleri vakum altında 20 V/cm voltaj gradyanında ohmik ısıtmalı ön pişirilmiş sığır köfteler için (yaklaşık 1,80 mg MA/kg) saptanmıştır ($p<0,05$).

Çizelge 4.20. Sığır köfte örneklerine ait TBARS değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Depolama Süresi (gün)	TBARS (mg malonaldehit/kg)
Geleneksel	-	30	2,71±0,04 ^{A*}
		60	2,75±0,04 ^A
Atmosfer	10	30	2,65±0,01 ^A
		60	2,75±0,01 ^A
	15	30	2,36±0,04 ^{BC}
		60	2,40±0,04 ^B
	20	30	2,25±0,04 ^{BCD}
		60	2,21±0,18 ^{CD}
Vakum	10	30	2,28±0,00 ^{BC}
		60	2,32±0,18 ^{BC}
	15	30	2,10±0,05 ^D
		60	2,11±0,08 ^D
	20	30	1,81±0,05 ^E
		60	1,84±0,04 ^E

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0,05).

Domuz etinin ohmik ısıtmayla ve su banyosunda pişirildiği bir çalışmada (Dai vd., 2014), soğukta depolama sırasında (+4°C'de 7 gün) ohmik ısıtmayla pişirilmiş etin daha düşük TBARS değerlerine ve depolama süresince daha yüksek oksidatif stabiliteye sahip olduğu saptanmıştır. Çalışmada, ohmik ısıtmayla pişirilmiş örneklerde depolama süresiyle birlikte TBARS değerlerindeki artış hızının nispeten daha yavaş olduğu belirlenmiştir. Bu durum, su banyosunda pişirme işleminde etin yüzeyinin daha yüksek sıcaklıklara uzun süre maruz kalması sonucu membran fosfolipitlerinde termal hasarın ve proteinlerin ısı etkisiyle denatürasyonunun daha fazla olabileceği ve ürün havaya maruz kaldığında da hızlı bir lipid oksidasyonuna maruz kalabileceği hipotezi ile açıklanmıştır (Zell vd., 2010a). Benzer şekilde, yapılan bir çalışmada (Zell vd., 2010b), hızlı radyo frekansı, ohmik ısıtmalı ve geleneksel yöntemler kullanılarak pişirilmiş hindi etleri arasında geleneksel yöntemle pişirilmiş ürünlerin en yüksek lipid oksidasyon seviyelerine sahip olduğu rapor edilmiştir. Hong vd. (2007), donuk domuz etini tuzlu suya batırarak ve ohmik ısıtmalı yöntemle çözündürmüş; ohmik ısıtmalı yöntem ile örneklerin daha hızlı çözündürülmesinin mümkün olduğunu etmiştir. Araştırmacılar, voltaj artışının etlerin STK değerini artırırken TBARS değerini genellikle azaltabileceğini bildirmişlerdir.

4.10. Renk Parametrelerinin Depolama ile Değişimine Ait Bulgular

4.10.1. Tavuk Eti Köfteleri

Farklı ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminin tavuk köftelerin dış yüzeyine ait L^* , a^* ve b^* renk parametreleri üzerine soğukta depolamanın ($+4^{\circ}\text{C}$) etkisi Çizelge 4.21’de ve dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi Çizelge 4.22’de sunulmuştur. Soğukta depolanan köftelerin dış yüzey renk değerleri incelendiğinde geleneksel ön pişirilmiş tavuk köftelerin parlaklık (L^*) değerleri 67,4-72,1 aralığında bulunmuştur. Depolamanın farklı günleri için geleneksel ön pişirilmiş köftelerin L^* renk değeri diğer pişirme yöntemlerine kıyasla daha yüksek saptanmıştır ($p<0,05$). Et ürünündeki yüksek yağ seviyelerinin oksijen penetrasyonunu ve metmiyogloblin oluşumunu geciktirebileceğinden etin rengini etkileyebileceği belirtilmiştir (Valerio vd., 2020). Yine, yüksek yağ içeriğinin ışığın saçılması ile ilişkili olarak parlaklığı artırdığı bilinmektedir (Pietrasik, 1999; Feng vd., 2012). Geleneksel ön pişirme işleminde yüksek pişirme kayıpları ile örnek yüzeyinde biriken yağ tabakasının etkisiyle daha yüksek parlaklık değerine sahip olabileceği düşünülmektedir. Ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminin vakum veya atmosfer basıncı altında gerçekleştirilmesinin köftelerin soğukta depolanması süresince L^* renk parametresi üzerine belirgin bir etkisi gözlenmemiştir. Ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerine maruz bırakılan ve soğukta depolanan tavuk köftelere ait kırmızılık (a^*) renk değerlerinin, geleneksel ön pişirme işlemine maruz bırakılan örneklerle (0,8-1,5 aralığında) kıyasla genel olarak daha yüksek olduğu saptanmıştır. Genel olarak, 20 V/cm voltaj gradyanında ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemi sonrasında soğukta depolanan köftelere ait kırmızılık (a^*) renk değerleri yüksek olmuştur (Çizelge 4.21). Soğukta depolanan köftelerin depolanması süresince dış yüzeylerine ait parlaklık ve kırmızılık renk değerlerindeki değişime benzer eğilimler, örneklerin dondurarak depolanmasında da gözlenmiştir (Çizelge 4.22). Geleneksel ön pişirme sonrasında dondurularak depolanan tavuk köftelerin dış yüzeyine ait L^* değeri (yaklaşık 69) diğer ön pişirme işlemlerine maruz bırakılıp depolanan köftelerin değerlerinden daha yüksek bulunmuştur ($p<0,05$).

Farklı ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminin tavuk köftelerin dış yüzeyine ait ΔE^* , ΔC^* , C^* , CI^* ve hue açısı değerleri üzerine soğukta depolamanın ($+4^{\circ}\text{C}$) etkisi Çizelge 4.23’te ve dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi Çizelge 4.24’te sunulmuştur.

Çizelge 4.21. Tavuk köfte örneklerinin dış yüzeyine ait CIELAB renk değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın (+4°C) etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Depolama Süresi (gün)	L*	a*	b*
Geleneksel	-	1	68,04±1,53 ^{B*}	1,18±0,18 ^I	15,43±2,49 ^{EFG}
		7	67,41±1,95 ^B	1,22±0,18 ^I	15,85±0,92 ^{EFG}
		14	70,24±0,84 ^{AB}	1,52±0,20 ^{HI}	17,77±4,19 ^{A-F}
		21	72,12±3,98 ^A	0,82±0,20 ^I	13,84±1,09 ^{GH}
Atmosfer	10	1	56,22±2,99 ^{C-G}	2,23±0,31 ^{GH}	16,43±0,60 ^{D-G}
		7	55,45±1,61 ^{C-G}	3,65±0,68 ^{DEF}	18,86±0,68 ^{A-E}
		14	57,17±4,16 ^{CDE}	2,73±1,05 ^{F-D}	17,34±3,20 ^{A-G}
		21	57,41±2,48 ^{CDE}	3,32±0,42 ^{EF}	16,47±1,45 ^{C-G}
	15	1	53,56±2,70 ^{E-H}	4,19±0,45 ^{CDE}	17,10±2,25 ^{A-G}
		7	52,64±1,98 ^{GH}	6,52±0,49 ^A	20,30±0,95 ^A
		14	55,97±4,64 ^{C-G}	4,06±0,61 ^{CDE}	17,80±1,58 ^{A-F}
		21	56,76±4,96 ^{C-F}	4,57±1,31 ^{CD}	15,90±0,61 ^{EFG}
	20	1	56,38±3,55 ^{C-G}	6,52±0,92 ^A	17,62±3,32 ^{E-F}
		7	54,57±1,31 ^{C-G}	3,48±0,32 ^{EF}	15,80±4,66 ^{EFG}
		14	52,98±3,33 ^{FGH}	4,83±0,84 ^{BC}	14,78±1,15 ^{FGH}
		21	52,52±4,34 ^{GH}	5,75±0,52 ^{AB}	15,52±1,62 ^{EFG}
Vakum	10	1	53,50±1,60 ^{E-H}	2,93±0,65 ^{FG}	11,63±5,91 ^H
		7	54,35±2,55 ^{C-G}	4,17±1,22 ^{CDE}	20,26±1,71 ^{AB}
		14	57,84±1,51 ^{CD}	4,63±0,59 ^{CD}	17,76±0,57 ^{A-F}
		21	57,98±1,31 ^C	2,52±0,42 ^{GH}	15,33±1,17 ^{EFG}
	15	1	56,77±1,96 ^{C-F}	4,19±0,61 ^{CDE}	17,56±3,91 ^{E-F}
		7	53,93±2,13 ^{D-G}	6,13±0,73 ^A	19,73±2,81 ^{A-D}
		14	56,83±0,98 ^{C-F}	4,22±0,77 ^{CDE}	16,58±2,48 ^{B-G}
		21	57,80±1,83 ^{CD}	3,71±0,78 ^{DEF}	15,90±1,84 ^{EFG}
	20	1	57,18±1,95 ^{CDE}	5,77±0,66 ^{AB}	18,76±3,54 ^{A-E}
		7	57,68±3,30 ^{CD}	3,70±0,45 ^{DEF}	15,33±3,92 ^{E-H}
		14	49,87±3,05 ^H	6,38±0,68 ^A	16,10±2,01 ^{D-G}
		21	56,78±4,35 ^{C-F}	6,00±1,24 ^A	20,16±2,36 ^{ABC}

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0,05).

Çizelge 4.22. Tavuk köfte örneklerinin dış yüzeyine ait CIELAB renk değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Depolama Süresi (gün)	L*	a*	b*
Geleneksel	-	30	68,74±0,37 ^{A*}	1,86±0,11 ^E	14,53±0,39 ^{FG}
		60	69,80±0,79 ^A	1,98±0,16 ^E	16,30±2,02 ^{EF}
Atmosfer	10	30	58,88±0,45 ^{CD}	1,93±0,07 ^E	16,26±0,35 ^{EFG}
		60	58,08±2,46 ^{DE}	2,02±0,25 ^E	16,62±1,16 ^{DE}
	15	30	59,34±0,54 ^{CD}	1,86±0,07 ^E	16,69±0,46 ^{DE}
		60	60,20±1,54 ^C	3,88±0,67 ^A	21,50±1,30 ^B
	20	30	60,18±2,53 ^{CD}	3,26±0,74 ^{BC}	18,19±0,96 ^{CD}
		60	52,82±1,12 ^F	3,87±0,34 ^B	16,46±0,74 ^E
Vakum	10	30	56,47±0,41 ^E	1,74±1,15 ^E	11,99±1,35 ^H
		60	58,91±1,40 ^{CD}	2,28±0,34 ^{DE}	13,49±2,35 ^{GH}
	15	30	58,37±0,59 ^{CDE}	3,09±0,12 ^C	16,32±0,92 ^{EF}
		60	58,33±2,46 ^{CDE}	3,51±1,12 ^{BC}	18,89±1,22 ^C
	20	30	65,35±1,77 ^B	2,83±0,49 ^{CD}	15,74±1,17 ^{EF}
		60	58,84±0,46 ^D	5,07±0,62 ^A	24,18±1,85 ^A

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0,05).

Tavuk köftelerin soğukta depolanması sırasında dış yüzeylerine ait ΔE^* renk değerlerindeki değişim Şekil 4.17’de gösterilmiştir. Çizelge 4.23 ve Şekil 4.17 incelendiğinde, geleneksel ön pişirme işlemine maruz bırakılmış köftelerin dış yüzeyine ait ΔE^* değeri farklı depolama günleri için 18,49-21,98 aralığında bulunmuş ve diğer yöntemlere maruz bırakılıp depolanan örneklerle kıyasla bu değerlerin istatistiksel açıdan önemli düzeyde daha yüksek olduğu ($p<0,05$) belirlenmiştir. Bir rengin saflığı, yoğunluğu veya doygunluğunun göstergesi olan kroma (C^*) değerinin, depolamanın ilk günü için ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerinde voltaj gradyanı artışı ile arttığı gözlenmiştir.

Çizelge 4.23. Tavuk köfte örneklerinin dış yüzeyine ait kroma farkı (ΔC^*), kroma (C^*), kroma indeksi (CI^*) ve hue açısı değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın ($+4^\circ C$) etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Depolama Süresi (gün)	ΔC^*	C^*	CI^*	Hue Açısı (°)
Geleneksel	-	1	5,78±2,40 ^{E-H*}	15,48±2,49 ^{FGH}	0,08±0,01 ^{KL}	78,75±16,17 ^{CDE}
		7	6,15±0,89 ^{E-H}	15,90±0,91 ^{EFG}	0,08±0,02 ^{KL}	85,58±0,68 ^{AB}
		14	8,00±4,15 ^{A-G}	17,83±4,18 ^{A-F}	0,09±0,02 ^{JKL}	86,29±2,18 ^A
		21	4,38±0,97 ^H	13,86±1,09 ^{GH}	0,06±0,01 ^L	85,55±1,61 ^{AB}
Atmosfer	10	1	6,59±0,60 ^{D-H}	16,58±0,60 ^{D-G}	0,14±0,02 ^{JK}	81,10±4,37 ^{B-E}
		7	9,08±0,63 ^{A-E}	19,22±0,60 ^{A-E}	0,19±0,04 ^{GHI}	79,08±2,56 ^{A-D}
		14	7,56±3,12 ^{B-H}	17,56±3,29 ^{B-F}	0,16±0,05 ^{HIJ}	81,27±2,60 ^{A-D}
		21	6,66±1,43 ^{D-H}	16,81±1,41 ^{D-G}	0,21±0,05 ^{GHI}	78,53±1,84 ^{C-F}
	15	1	7,47±2,06 ^{C-H}	17,63±2,09 ^{B-F}	0,25±0,06 ^{EFG}	73,06±5,86 ^{E-}
		7	11,16±0,85 ^A	21,33±0,87 ^A	0,32±0,03 ^{BCD}	73,47±2,30 ^{E-I}
		14	8,10±1,48 ^{A-G}	18,27±1,47 ^{A-F}	0,23±0,05 ^{FG}	74,97±5,62 ^{D-I}
		21	6,43±0,85 ^{D-H}	16,57±0,86 ^{D-G}	0,29±0,07 ^{C-F}	75,79±4,95 ^{D-H}
	20	1	8,73±3,30 ^{A-F}	18,79±3,40 ^{A-F}	0,38±0,04 ^{AB}	72,39±3,95 ^{E-I}
		7	6,06±4,57 ^{E-H}	16,20±4,55 ^{D-G}	0,24±0,07 ^{FG}	75,10±7,96 ^{D-H}
		14	5,43±1,27 ^{FGH}	15,60±1,24 ^{E-H}	0,33±0,05 ^{BC}	71,96±2,49 ^{F-I}
		21	6,49±1,65 ^{D-H}	16,55±1,69 ^{D-G}	0,37±0,01 ^{AB}	71,52±3,40 ^{GHI}
Vakum	10	1	5,02±2,46 ^{GH}	12,02±5,87 ^H	0,29±0,09 ^{C-F}	71,05±1,66 ^{HI}
		7	10,60±1,48 ^{ABC}	20,72±1,43 ^{ABC}	0,21±0,08 ^{GH}	78,18±4,30 ^{C-G}
		14	8,18±0,52 ^{A-G}	18,36±0,52 ^{A-F}	0,26±0,04 ^{C-G}	78,48±5,50 ^{C-F}
		21	5,49±1,18 ^{FGH}	15,51±1,12 ^{FGH}	0,15±0,04 ^{HIJ}	83,66±4,68 ^{ABC}
	15	1	7,91±3,84 ^{A-G}	18,07±3,87 ^{A-F}	0,25±0,05 ^{FG}	73,51±3,94 ^{E-I}
		7	10,53±2,63 ^{ABC}	20,68±2,67 ^{ABC}	0,32±0,06 ^{B-E}	72,52±3,19 ^{E-I}
		14	6,94±2,51 ^{D-H}	17,12±2,52 ^{C-G}	0,26±0,04 ^{D-G}	75,69±2,07 ^{D-H}
		21	6,17±1,85 ^{D-H}	16,34±1,87 ^{D-G}	0,24±0,05 ^{C-F}	76,89±2,50 ^{D-H}
	20	1	9,51±3,35 ^{A-D}	19,65±3,40 ^{A-D}	0,32±0,06 ^{B-E}	72,54±3,42 ^{E-I}
		7	5,62±3,86 ^{FGH}	15,79±3,85 ^{EFG}	0,25±0,05 ^{EFG}	75,48±4,71 ^{D-H}
		14	7,30±2,08 ^{C-H}	17,32±2,12 ^{C-G}	0,40±0,01 ^A	68,36±0,67 ^I
		21	10,87±2,56 ^{AB}	21,04±2,55 ^{AB}	0,30±0,04 ^{C-F}	73,54±2,18 ^{E-I}

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0,05$).

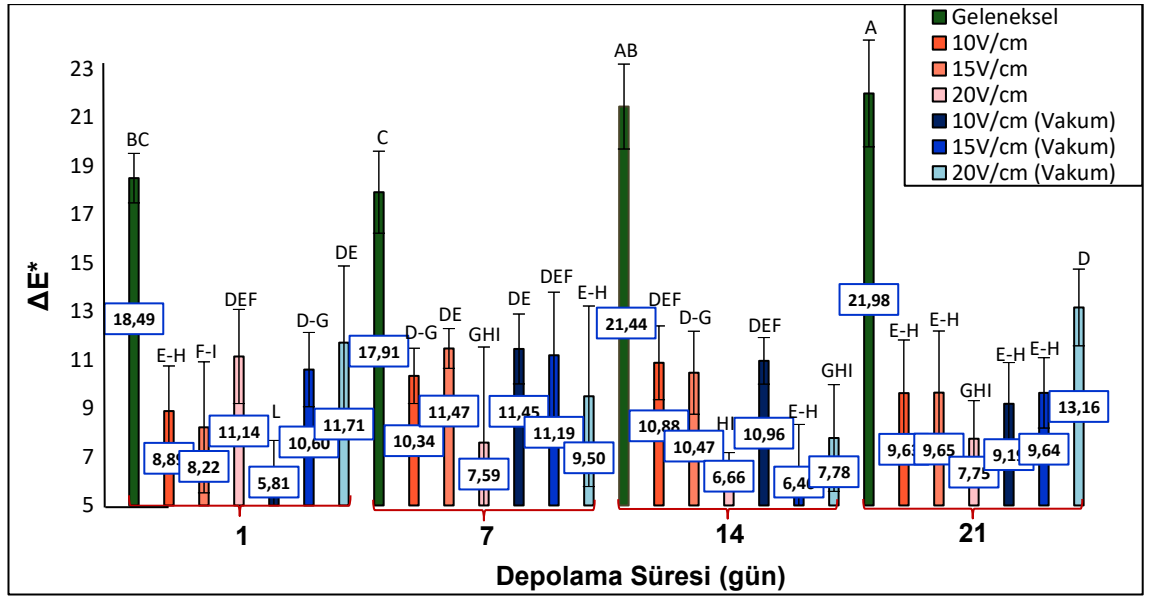
Depolamanın 7. günü için tavuk köftelerin C^* değerleri vakum altında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerinde atmosfer koşullarına kıyasla daha düşük olmuştur.

Tavuk köftelerin soğukta depolanması sırasında, geleneksel pişirilmiş köftelerin dış yüzeyine ait hue açıları 79-86° arasında değişmiş iken hem atmosfer hem de vakum basıncında 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanlarında ohmik ısıtmalı ön pişirilmiş köftelerin dış yüzeyine ait hue açıları 68-77° arasında ve geleneksel ön pişirilmiş örneklerinkinden daha düşük bulunmuştur. Yıldız-Turp (2016) ohmik ısıtmayla pişirilen köftelerin yüzey parlaklık ve kırmızılığının fırında ve tavada pişirilen numunelere göre daha yüksek olduğunu rapor etmiştir. Ayrıca, dış yüzey renk değerleri için çalışmamızdaki soğukta depolamanın ilk gününe benzer olarak, voltaj gradyanı arttıkça kroma değerinin arttığı ve dolayısıyla köftelerde daha kahverengi bir renk dağılımı elde edildiği bildirilmiştir. Çalışmamıza benzer şekilde, Shirsat vd. (2004b) daha yüksek voltaj gradyanlarında (5 ve 7 V/cm) ohmik ısıtmayla pişirilen numunelerin geleneksel pişirilenlere göre daha yüksek a* değerlerine ve daha düşük hue açısı değerlerine sahip olduğunu saptamıştır. Çalışmada ohmik ısıtmayla pişirilen örneklerin, geleneksel pişirme yöntemiyle pişirilenlere göre daha az renk değişimine sahip olduğu bildirilmiştir.

Çizelge 4.24. Tavuk köfte örneklerinin dış yüzeyine ait toplam renk farkı (ΔE^*), kroma farkı (ΔC^*), kroma (C^*), kroma indeksi (CI^*) ve hue açısı değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Depolama Süresi (gün)	ΔE^*	ΔC^*	C^*	CI^*	Hue Açısı (°)
Geleneksel	-	30	21,89±0,50 ^{EFG*}	2,29±0,18 ^{BC}	11,99±0,10 ^A	0,13±0,01 ^{BC}	82,73±0,41 ^A
		60	22,51±0,70 ^{CDE}	2,30±0,16 ^{BC}	12,09±0,16 ^A	0,14±0,01 ^B	83,04±0,62 ^A
Atmosfer	10	30	22,93±0,87 ^{BCD}	2,30±0,35 ^{BC}	11,87±0,43 ^{AB}	0,12±0,01 ^{DE}	82,78±0,32 ^A
		60	23,26±0,68 ^{ABC}	2,83±0,16 ^A	12,35±0,19 ^A	0,10±0,01 ^{EF}	83,08±0,79 ^A
	15	30	23,75±0,28 ^{AB}	2,37±0,34 ^{BC}	11,84±0,16 ^{AB}	0,10±0,03 ^{DE}	83,64±0,21 ^A
		60	22,34±0,42 ^{DEF}	2,36±0,10 ^{BC}	11,29±0,15 ^D	0,07±0,01 ^G	79,78±1,55 ^{BC}
	20	30	23,96±0,91 ^A	2,71±0,47 ^{AB}	11,96±0,55 ^{AB}	0,08±0,02 ^{FG}	79,93±1,79 ^{BC}
		60	23,10±0,67 ^{BCD}	2,62±0,64 ^{AB}	12,32±0,65 ^A	0,12±0,02 ^{BCD}	76,73±1,47 ^D
Vakum	10	30	21,60±0,60 ^{FG}	2,60±0,07 ^{AB}	11,33±0,19 ^{CD}	0,04±0,01 ^H	81,70±0,50 ^{AB}
		60	21,08±0,30 ^G	2,36±0,18 ^{BC}	12,32±0,17 ^A	0,18±0,01 ^A	80,08±2,64 ^{BC}
	15	30	21,72±0,32 ^{EFG}	2,31±0,27 ^{BC}	11,47±0,43 ^{BCD}	0,08±0,01 ^{EFG}	79,28±0,28 ^C
		60	21,78±0,30 ^{EFG}	2,35±0,10 ^{BC}	11,24±0,16 ^D	0,08±0,01 ^G	79,35±3,84 ^C
	20	30	22,31±0,88 ^{DEF}	1,99±0,20 ^C	10,54±0,29 ^E	0,07±0,01 ^G	79,85±1,12 ^{BC}
		60	21,90±0,22 ^{EFG}	2,74±0,58 ^{AB}	11,84±0,65 ^{ABC}	0,06±0,02 ^G	78,17±0,70 ^{CD}

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0,05).



Şekil 4.47. Tavuk köfte örneklerinin dış yüzeyine ait toplam renk farkı (ΔE^*) üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın ($+4^\circ\text{C}$) etkisi (Sütunlar üzerindeki farklı harfler örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0,05$)).

Tavuk köftelerin kesit yüzeylerine ait L^* , a^* ve b^* renk parametreleri üzerine farklı ohmik ısıtılmalı ön pişirme işlemleri ile soğukta depolamanın ($+4^\circ\text{C}$) etkisi Çizelge 4.25'te ve dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi Çizelge 4.26'da gösterilmiştir. Soğukta depolanan köftelerin kesit yüzey renk değerleri incelendiğinde dış yüzey renk değerlerine benzer şekilde depolamanın 7. günü için en yüksek parlaklık değeri (81,7) atmosfer basıncı altında 15 V/cm voltaj gradyanında ohmik ısıtılmalı ön pişirilmiş köfteler saptanmıştır ($p<0,05$). Geleneksel ön pişirilmiş köftelerin b^* renk değerlerinin 13,7-16,3 aralığında ve genel olarak ohmik ısıtmayla ön pişirilmiş köftelere kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Tavuk köftelerin dondurarak depolanması sırasında kesit yüzeylerine ait L^* değerleri tüm örnekler için 72-74 aralığında bulunmuştur. Dondurarak depolamayla birlikte, 15 V/cm voltaj gradyanında atmosfer basıncı altında ohmik ısıtılmalı ön pişirilmiş köftelerin kesit yüzeylerine ait L^* değerleri 74,3'ten 72,8'e düşerken 20 V/cm voltaj gradyanı için düşüş 74,4'ten 73,6'ya gerçekleşmiştir ($p<0,05$). Dondurarak depolama süresince köfte örneklerinin b^* renk değerlerindeki değişim oldukça sınırlı kalırken, a^* renk değerleri açısından istatistiksel olarak önemli düşüşler atmosfer basıncı altında 15 V/cm voltaj gradyanındaki ohmik ısıtılmalı ön pişirilmiş köftelerde görülmüştür ($p<0,05$) (Çizelge 4.26).

Çizelge 4.25. Tavuk köfte örneklerinin kesit yüzeyine ait CIELAB renk değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın (+4°C) etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Depolama Süresi (gün)	L*	a*	b*
Geleneksel	-	1	72,10±1,35 ^{B-F*}	1,05±0,11 ^F	13,72±0,63 ^{CD}
		7	70,98±1,75 ^{B-G}	0,66±0,02 ^{HI}	15,29±1,30 ^{AB}
		14	74,36±2,09 ^B	0,50±0,05 ^{JKL}	14,39±0,45 ^{BC}
		21	71,22±0,52 ^{B-G}	0,62±0,02 ^{H-K}	16,32±2,64 ^A
Atmosfer	10	1	71,33±1,15 ^{B-G}	0,37±0,04 ^L	12,69±1,36 ^{D-H}
		7	73,02±1,56 ^{BCD}	0,84±0,03 ^G	12,61±1,83 ^{D-H}
		14	70,80±2,18 ^{B-G}	0,59±0,05 ^{H-K}	11,85±0,85 ^{FGH}
		21	72,69±1,59 ^{B-E}	0,65±0,08 ^{HI}	12,78±0,20 ^{D-H}
	15	1	70,71±1,72 ^{B-H}	0,65±0,27 ^{HIJ}	13,10±0,41 ^{C-F}
		7	81,68±4,96 ^A	0,72±0,05 ^{GH}	12,68±1,07 ^{D-H}
		14	70,86±2,33 ^{B-G}	0,85±0,12 ^G	12,88±0,56 ^{D-H}
		21	70,60±1,08 ^{C-G}	1,62±0,05 ^{BC}	12,46±0,55 ^{D-H}
	20	1	68,57±3,34 ^{F-I}	0,73±0,07 ^{GH}	12,89±1,15 ^{D-H}
		7	66,86±2,81 ^{H-K}	0,47±0,01 ^{KL}	12,71±1,33 ^{D-H}
		14	69,35±1,57 ^{D-I}	1,37±0,14 ^D	11,94±0,97 ^{FGH}
		21	73,10±2,34 ^{BC}	1,09±0,06 ^{EF}	11,50±0,77 ^H
Vakum	10	1	63,88±7,33 ^K	2,72±0,18 ^A	12,49±1,03 ^{D-H}
		7	68,51±0,53 ^{F-I}	1,21±0,11 ^E	13,54±0,70 ^{CDE}
		14	70,21±1,50 ^{C-H}	0,43±0,02 ^L	12,88±0,53 ^{D-H}
		21	70,51±0,71 ^{C-H}	1,57±0,07 ^C	12,98±0,52 ^{C-G}
	15	1	69,92±1,86 ^{C-H}	1,10±0,21 ^{EF}	12,13±1,11 ^{E-H}
		7	64,02±6,22 ^{JK}	0,66±0,06 ^{HI}	13,46±0,48 ^{CDE}
		14	69,21±1,66 ^{E-I}	1,47±0,18 ^{CD}	12,60±1,16 ^{D-H}
		21	69,16±0,78 ^{E-I}	1,04±0,11 ^F	12,58±0,34 ^{D-H}
	20	1	68,53±2,30 ^{F-I}	1,38±0,14 ^D	12,68±0,96 ^{D-H}
		7	67,66±2,32 ^{G-J}	0,51±0,04 ^{I-L}	13,11±0,56 ^{C-F}
		14	65,92±1,09 ^{IJK}	1,74±0,02 ^B	11,56±1,09 ^{GH}
		21	68,62±0,56 ^{F-I}	1,12±0,15 ^{EF}	11,95±0,65 ^{FGH}

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0,05).

Çizelge 4.26 incelendiğinde, atmosfer basıncı altında 20 V/cm ve vakum altında 10 V/cm voltaj gradyanlarında ohmik ısıtmalı ön pişirilmiş köftelerin a* renk değerlerinde dondurarak depolama sırasında önemli artış gözlenmiştir (p<0,05). Benzer şekilde, Yıldız Turp (2016) ohmik ısıtmayla pişirilen köftelerin kesitinde L* değerinin diğer pişirme yöntemlerine göre daha düşük olduğunu rapor etmiştir. Ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminin vakum veya atmosfer basıncı altında gerçekleştirilmesinin köftelerin soğukta depolanması süresince kesit yüzeylerine ait a* renk parametresi üzerine belirgin bir etkisi gözlenmemiştir.

Çizelge 4.26. Tavuk köfte örneklerinin kesit yüzeyine ait CIELAB renk değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Depolama Süresi (gün)	L*	a*	b*
Geleneksel	-	30	72,40±0,52 ^{EFG*}	1,55±0,16 ^{BC}	11,90±0,12 ^{AB}
		60	73,02±0,71 ^{CDE}	1,69±0,14 ^B	11,97±0,16 ^A
Atmosfer	10	30	73,44±0,87 ^{BCD}	1,37±0,07 ^{CD}	11,79±0,43 ^{A-D}
		60	73,72±0,69 ^{ABC}	1,16±0,12 ^{DE}	12,29±0,19 ^A
	15	30	74,26±0,26 ^{AB}	1,23±0,35 ^D	11,78±0,19 ^{A-D}
		60	72,84±0,42 ^{DEF}	0,72±0,05 ^F	11,27±0,16 ^{DE}
	20	30	74,43±0,89 ^A	0,88±0,29 ^F	11,92±0,55 ^{AB}
		60	73,57±0,72 ^{BCD}	1,49±0,22 ^{BC}	12,23±0,66 ^A
Vakum	10	30	72,08±0,60 ^{FG}	0,46±0,09 ^G	11,32±0,19 ^{CDE}
		60	71,57±0,29 ^G	2,05±0,04 ^A	12,15±0,18 ^A
	15	30	72,23±0,30 ^{EFG}	0,93±0,04 ^{EF}	11,43±0,23 ^{B-E}
		60	72,29±0,30 ^{EFG}	0,70±0,03 ^{FG}	11,22±0,16 ^E
	20	30	72,85±0,89 ^{DEF}	0,74±0,15 ^F	10,51±0,29 ^F
		60	72,35±0,21 ^{EFG}	0,72±0,15 ^F	11,82±0,66 ^{ABC}

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0,05).

Farklı ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminin tavuk köftelerin kesit yüzeylerine ait ΔE^* , ΔC^* , C^* , CI^* ve hue açısı değerleri üzerine soğukta depolamanın (+4°C) etkisi Çizelge 4.27’de ve dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi Çizelge 4.28’de sunulmuştur. Geleneksel ön pişirme işlemine maruz bırakılmış köftelerin soğukta depolanması sırasında kesit yüzeylerine ait ΔE^* değeri farklı depolama günleri için 19,5-22,7 arasında bulunmuş ve diğer yöntemlere maruz bırakılıp depolanan örneklerle kıyasla bu değerlerin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Geleneksel ön pişirilmiş örneklerin C^* değerleri depolama süresince 13,8-16,3 aralığında değişmiş ve genel olarak diğer örneklerin kesit yüzeylerine ait C^* değerlerinden daha yüksek olmuştur. Ön pişirme yöntemi ve koşulları ile depolama süresinin köftelerin kesit yüzeylerine ait hue açısı üzerine etkisi (depolamanın ilk günü için 10 V/cm voltaj gradyanında vakum altındaki ohmik ısıtmalı ön pişirme hariç) tüm örnekler için benzer bulunmuştur (p>0,05). Tavuk köftelerin dondurarak depolanması sırasında kesit yüzeylerine ait ΔE^* değerleri tüm örnekler için 21-24 aralığında bulunmuştur.

Dondurarak depolamayla birlikte, 15 V/cm voltaj gradyanında atmosfer basıncı altında ohmik ısıtmalı ön pişirilmiş köftelerin kesit yüzeylerine ait ΔE^* değerleri 23,8’den 22,3’e düşerken 20 V/cm voltaj gradyanı için düşüş 24,0’ten 23,1’e gerçekleşmiştir (p<0,05).

Çizelge 4.27. Tavuk köfte örneklerinin kesit yüzeyine ait toplam renk farkı (ΔE^*), kroma farkı (ΔC^*), kroma (C^*), kroma indeksi (CI^*) ve hue açısı değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın ($+4^\circ C$) etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Depolama Süresi (gün)	ΔE^*	ΔC^*	C^*	CI^*	Hue Açısı (°)
Geleneksel	-	1	20,31±1,24 ^{ABC*}	3,14±0,56 ^{C-F}	13,76±0,61 ^{CD}	0,08±0,01 ^{GH}	85,70±0,78 ^{A-F}
		7	19,53±1,97 ^{A-F}	4,70±1,13 ^B	15,30±1,30 ^{AB}	0,04±0,01 ^{J-M}	87,67±0,84 ^{ABC}
		14	22,68±2,10 ^A	4,01±0,35 ^{BC}	14,40±0,45 ^{BC}	0,04±0,01 ^{KLM}	88,03±0,18 ^A
		21	20,11±0,60 ^{A-D}	5,71±2,35 ^A	16,33±2,64 ^A	0,04±0,01 ^{KLM}	87,58±0,76 ^{A-D}
Atmosfer	10	1	19,56±1,11 ^{A-E}	3,17±0,39 ^{CDE}	12,70±1,36 ^{D-G}	0,03±0,01 ^M	87,77±1,80 ^{AB}
		7	16,28±1,56 ^{E-J}	2,91±0,70 ^{D-I}	12,64±1,83 ^{D-G}	0,06±0,01 ^{HI}	87,27±2,91 ^{A-F}
		14	18,94±2,14 ^{B-G}	2,53±0,18 ^{D-K}	11,86±0,84 ^{F-G}	0,05±0,01 ^{JKL}	86,50±1,35 ^{A-E}
		21	20,84±1,60 ^{AB}	2,77±0,15 ^{D-K}	12,79±0,20 ^{D-G}	0,05±0,01 ^{JKL}	87,06±0,36 ^{A-E}
	15	1	18,91±1,64 ^{B-G}	2,98±0,41 ^{D-H}	13,12±0,40 ^{C-F}	0,05±0,02 ^{JK}	87,17±1,24 ^{A-E}
		7	18,61±3,34 ^{B-G}	2,78±0,55 ^{D-K}	12,70±1,07 ^{D-G}	0,06±0,01 ^{JK}	86,34±0,54 ^{A-F}
		14	19,02±2,27 ^{B-G}	2,69±0,38 ^{D-K}	12,91±0,55 ^{D-G}	0,07±0,01 ^{HI}	86,28±1,44 ^{A-F}
		21	18,65±1,12 ^{B-G}	1,84±0,41 ^{KL}	12,57±0,55 ^{D-G}	0,13±0,01 ^C	87,79±3,02 ^{B-F}
	20	1	16,81±3,24 ^{D-I}	2,87±0,79 ^{KL}	12,92±1,15 ^{D-G}	0,06±0,01 ^{JK}	86,00±2,36 ^{A-F}
		7	15,16±2,66 ^{HIJ}	3,08±0,45 ^{C-G}	12,72±1,33 ^{D-G}	0,04±0,01 ^{KLM}	88,19±0,78 ^A
		14	17,41±1,55 ^{C-H}	1,91±0,24 ^{JKL}	12,02±0,97 ^{FG}	0,12±0,01 ^{CD}	85,69±3,19 ^{A-F}
		21	21,16±2,33 ^{C-I}	1,98±0,02 ^{I-L}	11,55±0,77 ^G	0,10±0,01 ^{EF}	84,33±3,71 ^{EF}
Vakum	10	1	16,19±2,83 ^{E-J}	1,50±0,93 ^L	12,70±1,01 ^{D-G}	0,19±0,02 ^A	80,65±2,83 ^G
		7	16,73±0,51 ^{E-I}	2,93±4,81 ^{D-I}	13,60±0,71 ^{CDE}	0,09±0,01 ^{FG}	85,94±1,68 ^{A-F}
		14	18,42±1,45 ^{B-H}	3,04±0,30 ^{D-G}	12,89±0,53 ^{D-G}	0,03±0,01 ^{LM}	87,80±0,97 ^{AB}
		21	18,66±0,67 ^{B-G}	2,25±0,44 ^{E-L}	13,08±0,51 ^{C-F}	0,12±0,01 ^{CD}	85,34±2,27 ^{A-F}
	15	1	18,07±1,73 ^{B-I}	2,21±0,63 ^{E-L}	12,18±1,09 ^{EF}	0,09±0,02 ^{FG}	86,10±2,79 ^{A-F}
		7	17,22±1,11 ^{C-I}	3,21±0,34 ^{CD}	13,48±0,48 ^{CDE}	0,05±0,01 ^{J-M}	84,12±4,01 ^F
		14	17,32±1,70 ^{C-I}	2,16±0,76 ^{G-L}	12,69±1,15 ^{D-G}	0,12±0,02 ^{CD}	85,58±3,30 ^{A-F}
		21	17,28±0,78 ^{C-I}	2,35±0,12 ^{D-L}	12,62±0,34 ^{D-G}	0,09±0,01 ^{FG}	85,67±2,64 ^{C-F}
	20	1	15,96±2,23 ^{G-J}	2,20±0,76 ^{D-L}	12,75±0,95 ^{D-G}	0,11±0,02 ^{DE}	85,88±2,60 ^{A-F}
		7	14,89±2,25 ^J	3,10±0,34 ^{C-G}	13,12±0,56 ^{C-F}	0,04±0,00 ^{KLM}	85,38±3,43 ^{A-F}
		14	13,04±1,12 ^J	1,49±0,51 ^L	11,69±1,08 ^{FG}	0,15±0,01 ^B	85,62±2,65 ^{DEF}
		21	16,71±0,57 ^{E-I}	2,03±0,22 ^{H-L}	12,00±0,66 ^{F-G}	0,10±0,01 ^{EF}	84,39±1,12 ^{EF}

Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0,05$).

Dondurarak depolama süresince köftelerin kesit yüzeylerine ait en düşük hue açısı ($80,4^\circ$) 10 V/cm voltaj gradyanında atmosfer basıncı altında ohmik ısıtmayla ön pişirilmiş ve 60 gün depolanmış köftelerde bulunmuştur ($p<0,05$). Shirsat vd. (2004b) yüksek voltaj gradyanlarında ohmik ısıtmayla pişirilen ürünlerin, geleneksel pişirme veya düşük voltajda ohmik ısıtma yöntemiyle pişirilen numunelere göre daha az toplam renk değişimine sahip olduğunu bildirmiştir. Çalışmamızdan elde edilen bulgular bu sonucu desteklemektedir.

Çizelge 4.28. Tavuk köfte örneklerinin kesit yüzeyine ait toplam renk farkı (ΔE^*), kroma farkı (ΔC^*), kroma (C^*), kroma indeksi (CI^*) ve hue açısı değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın ($-18^\circ C$) etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Depolama Süresi (gün)	ΔE^*	ΔC^*	C^*	CI^*	Hue Açısı ($^\circ$)
Geleneksel	-	30	21,89 $\pm$ 0,50 ^{FG*}	2,29 $\pm$ 0,18 ^{BC}	11,99 $\pm$ 0,10 ^A	0,13 $\pm$ 0,01 ^{BC}	82,560,83 ^{FG}
		60	22,51 $\pm$ 0,70 ^{CDE}	2,30 $\pm$ 0,16 ^{BC}	12,09 $\pm$ 0,16 ^A	0,14 $\pm$ 0,01 ^B	81,95 $\pm$ 0,68 ^G
Atmosfer	10	30	22,93 $\pm$ 0,87 ^{BCD}	2,30 $\pm$ 0,35 ^{BC}	11,87 $\pm$ 0,43 ^{AB}	0,12 $\pm$ 0,01 ^{DE}	83,350,43 ^{EF}
		60	23,26 $\pm$ 0,68 ^{ABC}	2,83 $\pm$ 0,16 ^A	12,35 $\pm$ 0,19 ^A	0,10 $\pm$ 0,01 ^{EF}	84,62 $\pm$ 0,53 ^{CD}
	15	30	23,75 $\pm$ 0,28 ^{AB}	2,37 $\pm$ 0,34 ^{BC}	11,84 $\pm$ 0,16 ^{AB}	0,10 $\pm$ 0,03 ^{DE}	84,05 $\pm$ 1,78 ^{DE}
		60	22,34 $\pm$ 0,42 ^{DEF}	2,36 $\pm$ 0,10 ^{BC}	11,29 $\pm$ 0,15 ^D	0,07 $\pm$ 0,01 ^G	86,37 $\pm$ 0,25 ^B
	20	30	23,96 $\pm$ 0,91 ^A	2,71 $\pm$ 0,47 ^{AB}	11,96 $\pm$ 0,55 ^{AB}	0,08 $\pm$ 0,02 ^{FG}	85,77 $\pm$ 1,41 ^{BC}
		60	23,10 $\pm$ 0,67 ^{BCD}	2,62 $\pm$ 0,64 ^{AB}	12,32 $\pm$ 0,65 ^A	0,12 $\pm$ 0,02 ^{BCD}	83,02 $\pm$ 1,21 ^{EF}
Vakum	10	30	21,60 $\pm$ 0,60 ^{FG}	2,60 $\pm$ 0,07 ^{AB}	11,33 $\pm$ 0,19 ^{CD}	0,04 $\pm$ 0,01 ^H	87,66 $\pm$ 0,43 ^A
		60	21,08 $\pm$ 0,30 ^G	2,36 $\pm$ 0,18 ^{BC}	12,32 $\pm$ 0,17 ^A	0,18 $\pm$ 0,01 ^A	80,42 $\pm$ 0,27 ^H
	15	30	21,72 $\pm$ 0,32 ^{EF}	2,31 $\pm$ 0,27 ^{BC}	11,47 $\pm$ 0,43 ^{BCD}	0,08 $\pm$ 0,01 ^{EF}	85,35 $\pm$ 0,18 ^{BC}
		60	21,78 $\pm$ 0,30 ^{EF}	2,35 $\pm$ 0,10 ^{BC}	11,24 $\pm$ 0,16 ^D	0,08 $\pm$ 0,01 ^G	86,46 $\pm$ 0,16 ^{AB}
	20	30	22,31 $\pm$ 0,88 ^{DEF}	1,99 $\pm$ 0,20 ^C	10,54 $\pm$ 0,29 ^E	0,07 $\pm$ 0,01 ^G	85,98 $\pm$ 0,87 ^B
		60	21,90 $\pm$ 0,22 ^{EF}	2,74 $\pm$ 0,58 ^{AB}	11,84 $\pm$ 0,65 ^{ABC}	0,06 $\pm$ 0,02 ^G	86,50 $\pm$ 0,87 ^{AB}

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0,05$).

4.10.2. Sığır Eti Köfteleri

Farklı ohmik ısıtılmalı ön pişirme işleminin sığır köftelerin dış yüzeyine ait L^* , a^* ve b^* renk parametreleri üzerine soğukta depolamanın ($+4^\circ C$) etkisi Çizelge 4.29'da ve dondurarak depolamanın ($-18^\circ C$) etkisi Çizelge 4.30'da sunulmuştur. Soğukta depolanan sığır köftelerin yüzey renk değerleri incelendiğinde geleneksel ön pişirilmiş sığır köftelerin parlaklık değerleri 46,3-51,6 aralığında bulunmuştur. Soğukta depolama sırasında tüm ön pişirme yöntemlerinde L^* açısından soğukta 1. depolama gününden elde edilen değer ile ve 7. gün arasındaki fark önemli bulunmuş, depolama günü ile birlikte artış gözlenmiştir ($p<0,05$). Soğukta depolama süresince köftelerin dış yüzeylerine ait b^* renk değerlerinin ise ohmik pişirilmiş örneklerde genel olarak daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Sayısal olarak en yüksek a^* renk değeri 20 V/cm voltaj gradyanında vakum altında gerçekleştirilen ohmik ısıtılmalı ön pişirme işlemine maruz bırakılan köftelerde soğukta depolamanın ilk gününde (7,37) saptanmıştır. Dai vd. (2014) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada domuz eti ohmik ısıtılmalı ve geleneksel yöntemle (su banyosu) pişirilmiştir. Su banyosunda pişirilmiş etin ohmik ısıtmayla pişirilmiş etten önemli düzeyde daha yüksek L^* ve b^* değerleri ile daha düşük a^* değerlerine sahip olduğu rapor edilmiştir. Genel olarak, pişmiş et ürünlerindeki sarılığın bir göstergesi olan pozitif b^* renk değerleri, soğukta depolama boyunca önemli düzeyde artmaktadır (Estévez vd., 2006, Ganhão vd., 2010). Depolama süresince, pişirilmiş ette artan L^* ve

azalan a* değerleri, nitroso-pigment bozulmaları ve oksidasyonları ile ilişkilendirilmiştir (Zell vd., 2009; Estévez vd., 2006, Ganhão vd., 2010).

Çizelge 4.29. Sığır köfte örneklerinin dış yüzeyine ait CIELAB renk değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın (+4°C) etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Depolama Süresi (gün)	L*	a*	b*
Geleneksel	-	1	46,34±1,63 ^{EF*}	6,59±0,34 ^{B-G}	6,83±0,64 ^{FGH}
		7	50,35±1,52 ^{A-D}	6,18±0,46 ^{E-J}	7,43±1,36 ^{EFG}
		14	51,57±0,42 ^A	5,22±0,21 ^{LMN}	5,01±1,87 ^{HI}
		21	50,93±0,63 ^{AB}	6,40±0,35 ^{C-H}	6,83±0,65 ^{FGH}
Atmosfer	10	1	42,91±5,25 ^{G-J}	6,34±0,96 ^{C-J}	4,70±0,65 ^{HI}
		7	46,80±2,46 ^{EF}	5,68±0,38 ^{I-M}	9,79±0,50 ^{A-D}
		14	45,58±1,83 ^{E-H}	5,70±0,31 ^{I-M}	8,03±0,71 ^{C-G}
		21	46,46±2,03 ^{EF}	4,98±0,60 ^{MN}	8,70±1,94 ^{B-G}
	15	1	41,48±1,42 ^J	7,06±0,32 ^{ABC}	7,18±1,62 ^{FG}
		7	50,40±4,00 ^{ABC}	5,38±0,80 ^{K-N}	8,62±1,62 ^{B-G}
		14	50,31±0,86 ^{A-D}	5,22±0,54 ^{LMN}	7,85±0,74 ^{D-G}
		21	47,19±3,10 ^{DEF}	5,87±0,57 ^{G-L}	9,33±1,77 ^{A-E}
	20	1	41,07±4,08 ^J	5,24±0,75 ^{LMN}	4,43±1,89 ^I
		7	47,26±1,86 ^{C-F}	6,95±0,70 ^{A-D}	8,22±3,74 ^{C-G}
		14	47,39±0,94 ^{C-F}	6,54±0,26 ^{B-H}	10,11±0,39 ^{ABC}
		21	45,32±0,86 ^{E-H}	6,80±0,14 ^{A-E}	9,61±0,25 ^{A-D}
Vakum	10	1	40,74±1,58 ^J	4,97±0,64 ^{MN}	6,71±2,01 ^{GH}
		7	47,60±1,26 ^{C-F}	6,74±0,72 ^{A-F}	8,91±1,52 ^{B-F}
		14	47,25±0,11 ^{C-F}	4,84±0,10 ^N	8,24±0,72 ^{C-G}
		21	45,78±2,55 ^{EFG}	6,03±0,22 ^{F-K}	8,28±1,58 ^{C-G}
	15	1	42,59±1,14 ^{HIJ}	6,17±0,50 ^{E-J}	7,18±1,00 ^{FG}
		7	46,09±0,82 ^{EF}	5,82±0,54 ^{H-L}	8,57±2,60 ^{B-G}
		14	45,41±0,40 ^{E-H}	5,75±0,34 ^{IJKL}	9,71±0,47 ^{A-D}
		21	48,08±0,63 ^{B-E}	5,61±0,43 ^{J-M}	7,79±0,65 ^{D-G}
	20	1	42,02±3,42 ^{IJ}	7,37±0,35 ^A	9,87±0,71 ^{A-D}
		7	44,87±4,06 ^{F-I}	7,17±1,35 ^{AB}	10,60±2,49 ^{AB}
		14	45,90±0,69 ^{EFG}	6,96±0,27 ^{A-D}	11,14±1,42 ^A
		21	46,05±1,80 ^{EFG}	6,29±0,37 ^{D-J}	8,61±0,50 ^{B-G}

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0,05).

Dondurarak depolanan sığır köftelerin dış yüzeylerine ait parlaklık, sarılık ve kırmızılık renk değerlerindeki depolanması sırasındaki değişimde farklı eğilimler gözlenmiştir (Çizelge 4.30). Örneğin, geleneksel ön pişirilmiş sığır köfterin parlaklık değeri dondurarak depolamanın 30.gününde 40,3 değerinden 49,2'ye yükselirken (p<0,05) atmosfer basıncında 10 ve 15 V/cm voltaj gradyanında ohmik ısıtım ile ön pişirilmiş köftelerde parlaklık değeri azalmıştır (p<0,05).

Çizelge 4.30. Sığır köfte örneklerinin dış yüzeyine ait CIELAB renk değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Depolama Süresi (gün)	L*	a*	b*
Geleneksel	-	30	40,31±1,55 ^{G*}	8,16±0,29 ^A	8,10±0,66 ^A
		60	49,22±2,94 ^A	4,67±1,31 ^{FG}	4,39±1,03 ^{GHI}
Atmosfer	10	30	44,72±0,39 ^{BC}	4,13±0,12 ^G	4,47±0,14 ^{GH}
		60	40,76±1,38 ^{FG}	5,37±0,36 ^{DEF}	5,36±0,20 ^{EF}
	15	30	44,77±1,19 ^B	5,20±0,07 ^{EF}	6,22±0,06 ^{CD}
		60	41,92±0,52 ^{D-G}	7,81±0,19 ^{AB}	7,41±0,77 ^{AB}
	20	30	41,62±0,70 ^{EF}	7,41±0,21 ^{AB}	7,08±0,22 ^B
		60	40,74±2,25 ^{FG}	7,84±1,97 ^{AB}	5,92±0,59 ^{DE}
Vakum	10	30	42,65±0,38 ^{C-F}	4,68±0,34 ^{FG}	4,52±0,51 ^G
		60	43,94±1,79 ^{BCD}	5,77±0,30 ^{DE}	3,64±0,39 ^I
	15	30	43,24±0,45 ^{B-E}	5,28±0,13 ^{DEF}	3,69±0,10 ^{HI}
		60	43,65±1,72 ^{B-E}	7,06±0,14 ^{BC}	7,11±0,21 ^B
	20	30	45,04±1,30 ^B	6,22±0,49 ^{CD}	4,92±0,69 ^{FG}
		60	42,21±1,18 ^{D-G}	5,36±0,24 ^{DEF}	6,78±0,85 ^{BC}

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0,05).

Farklı ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminin sığır köftelerin dış yüzeyine ait ΔE^* , ΔC^* , C^* , CI^* ve hue açısı değerleri üzerine soğukta depolamanın (+4°C) etkisi Çizelge 4.31’de ve dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi Çizelge 4.32’de sunulmuştur. Aynı voltaj gradyanı için depolamanın ilk günü ile son günü kıyaslandığında, atmosfer basıncı altındaki ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerine maruz bırakılan sığır köftelerin dış yüzeyine ait ΔC^* renk değerleri farklı bulunurken (p<0,05), vakum altında ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemine maruz bırakılan sığır köftelerinin ΔC^* değerleri arasındaki farklılık önemsiz olmuştur (p>0,05). Sığır köfte örneklerinin soğukta depolanması sırasında, geleneksel pişirilmiş köftelerin dış yüzeyine ait hue açıları 42-50° arasında değişmiş iken atmosfer ve vakum basıncında ohmik ısıtmalı ön pişirilmiş köftelerin dış yüzeyine ait hue açıları sırasıyla 37-60° ve 49-59° aralıklarında bulunmuştur. Hue açısı değerleri depolamanın 21. gününde 1. güne kıyasla artış göstermiştir (Çizelge 4.31). Literatür çalışmalarında da benzer bulgular saptanmış olup bu durum depolama sırasında metmiyogloblin içeriğindeki artış ile ilişkilendirilmiştir (Valerio vd., 2020). Yine çalışmamızdan elde edilen bulgulara benzer olarak Valerio vd. (2020) tarafından mikrobiyal gelişimdeki artış ile TBARS ve renk farkı değerlerinde önemli düzeyde artış gözlenmiştir. Sığır köfte örneklerinin dondurarak depolanması sırasında dış yüzeylerine ait ΔE^* değerleri tüm örnekler için 7-12 aralığında bulunmuştur. Atmosfer basıncı altında 15 V/cm voltaj gradyanında ohmik ısıtmalı ön pişirilmiş köftelerde dondurarak depolamanın 30. ve 60. günleri arasında dış yüzeye ait ΔE^* değerleri 7,4’ten 10,5’e

yükselirken ($p<0,05$), 20 V/cm voltaj gradyanı için bu renk değerindeki değişim istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$). Dondurarak depolama süresince sığır köftelerinin dış yüzeyine ait C* renk değeri geleneksel ön pişirme işlemine maruz kalan köftelerde 11,5'ten 6,4'e düşmüştür ($p<0,05$). Atmosfer basıncı altında 10 ve 15 V/cm voltaj gradyanındaki ohmik ısıtmalı ön pişirilmiş köfteler ile vakum basıncı altında 15 V/cm voltaj gradyanındaki ohmik ısıtmalı ön pişirilmiş köftelerin dış yüzeyine ait C* renk değerleri depolama süresiyle birlikte önemli düzeyde artmıştır ($p<0,05$).

Çizelge 4.31. Sığır köfte örneklerinin dış yüzeyine ait kroma farkı (ΔC^*), kroma (C^*), kroma indeksi (CI^*) ve hue açısı değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın ($+4^\circ C$) etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Depolama Süresi (gün)	ΔC^*	C^*	CI^*	Hue Açısı ($^\circ$)
Geleneksel	-	1	3,87 $\pm$ 0,57 ^{H-K*}	9,50 $\pm$ 0,62 ^{F-J}	0,97 $\pm$ 0,07 ^{C-F}	45,96 $\pm$ 2,22 ^{E-H}
		7	4,60 $\pm$ 1,13 ^{E-J}	9,68 $\pm$ 1,30 ^{F-J}	0,85 $\pm$ 0,12 ^{D-H}	49,88 $\pm$ 3,86 ^{B-G}
		14	3,16 $\pm$ 1,27 ^{IJK}	7,35 $\pm$ 1,13 ^K	1,18 $\pm$ 0,49 ^{ABC}	42,45 $\pm$ 11,87 ^{GHI}
		21	3,91 $\pm$ 0,61 ^{H-K}	9,37 $\pm$ 0,58 ^{HIJ}	0,94 $\pm$ 0,09 ^{C-G}	46,77 $\pm$ 2,69 ^{D-G}
Atmosfer	10	1	2,19 $\pm$ 0,19 ^K	7,89 $\pm$ 1,14 ^{JK}	1,35 $\pm$ 0,08 ^A	36,62 $\pm$ 1,68 ^{HI}
		7	6,95 $\pm$ 0,47 ^{A-D}	11,33 $\pm$ 0,49 ^{A-F}	0,58 $\pm$ 0,04 ^H	59,87 $\pm$ 1,95 ^A
		14	5,25 $\pm$ 0,73 ^{C-H}	9,87 $\pm$ 0,51 ^{F-I}	0,72 $\pm$ 0,09 ^{FGH}	54,52 $\pm$ 3,41 ^{A-D}
		21	6,18 $\pm$ 1,83 ^{A-F}	10,07 $\pm$ 1,67 ^{E-I}	0,60 $\pm$ 0,16 ^H	59,55 $\pm$ 6,76 ^A
	15	1	4,15 $\pm$ 1,55 ^{G-J}	10,10 $\pm$ 1,29 ^{E-I}	1,03 $\pm$ 0,25 ^{B-E}	44,88 $\pm$ 6,20 ^{FGH}
		7	5,92 $\pm$ 1,78 ^{B-G}	10,24 $\pm$ 1,07 ^{D-H}	0,65 $\pm$ 0,19 ^{GH}	57,42 $\pm$ 7,97 ^{AB}
		14	5,30 $\pm$ 0,51 ^{C-H}	9,44 $\pm$ 0,89 ^{HIJ}	0,67 $\pm$ 0,04 ^{FGH}	56,38 $\pm$ 1,61 ^{ABC}
		21	6,46 $\pm$ 1,79 ^{A-E}	11,07 $\pm$ 1,41 ^{B-H}	0,65 $\pm$ 0,15 ^{GH}	57,36 $\pm$ 6,22 ^{AB}
	20	1	5,08 $\pm$ 0,45 ^{JK}	9,59 $\pm$ 0,78 ^K	1,33 $\pm$ 0,46 ^{AB}	38,49 $\pm$ 9,03 ^{HI}
		7	5,39 $\pm$ 3,39 ^{C-H}	10,98 $\pm$ 2,88 ^{C-H}	1,08 $\pm$ 0,73 ^{A-D}	47,02 $\pm$ 15,09 ^{D-G}
		14	7,10 $\pm$ 0,36 ^{ABC}	12,04 $\pm$ 0,45 ^{A-D}	0,65 $\pm$ 0,02 ^{GH}	57,11 $\pm$ 0,64 ^{ABC}
		21	6,57 $\pm$ 0,24 ^{A-D}	11,77 $\pm$ 0,29 ^{A-E}	0,71 $\pm$ 0,01 ^{FGH}	54,71 $\pm$ 0,22 ^{A-D}
Vakum	10	1	4,60 $\pm$ 1,38 ^{E-J}	8,37 $\pm$ 2,00 ^{JK}	0,77 $\pm$ 0,13 ^{E-H}	52,71 $\pm$ 4,50 ^{A-F}
		7	5,88 $\pm$ 1,52 ^{B-G}	11,21 $\pm$ 1,20 ^{B-H}	0,78 $\pm$ 0,15 ^{D-H}	52,53 $\pm$ 5,16 ^{A-F}
		14	5,78 $\pm$ 0,60 ^{B-H}	9,56 $\pm$ 0,66 ^{F-J}	0,59 $\pm$ 0,05 ^H	59,46 $\pm$ 1,86 ^A
		21	5,41 $\pm$ 1,54 ^{C-H}	10,28 $\pm$ 1,25 ^{D-H}	0,75 $\pm$ 0,16 ^{E-H}	53,48 $\pm$ 5,58 ^{A-E}
	15	1	4,35 $\pm$ 0,79 ^{F-J}	9,47 $\pm$ 1,05 ^{G-J}	0,87 $\pm$ 0,08 ^{D-H}	49,17 $\pm$ 2,47 ^{C-G}
		7	5,77 $\pm$ 2,52 ^{B-H}	10,44 $\pm$ 2,18 ^{D-H}	0,72 $\pm$ 0,22 ^{E-H}	54,68 $\pm$ 8,36 ^{A-D}
		14	6,85 $\pm$ 0,39 ^{A-D}	11,29 $\pm$ 0,55 ^{B-G}	0,59 $\pm$ 0,02 ^H	59,36 $\pm$ 0,97 ^A
		21	5,08 $\pm$ 0,45 ^{D-I}	9,59 $\pm$ 0,78 ^{F-J}	0,72 $\pm$ 0,01 ^{E-H}	54,24 $\pm$ 9,03 ^{A-D}
	20	1	6,80 $\pm$ 0,70 ^{A-D}	12,32 $\pm$ 0,63 ^{ABC}	0,75 $\pm$ 0,06 ^{E-H}	53,19 $\pm$ 2,23 ^{A-E}
		7	7,61 $\pm$ 2,54 ^{AB}	12,86 $\pm$ 2,44 ^{AB}	0,70 $\pm$ 0,19 ^{FGH}	55,42 $\pm$ 7,01 ^{ABC}
		14	8,09 $\pm$ 1,40 ^A	13,15 $\pm$ 1,33 ^A	0,63 $\pm$ 0,06 ^H	57,82 $\pm$ 2,39 ^{AB}
		21	5,67 $\pm$ 0,43 ^{C-H}	10,67 $\pm$ 0,61 ^{C-H}	0,73 $\pm$ 0,02 ^{E-H}	53,85 $\pm$ 0,69 ^{A-E}

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0,05$).

Kuzu etleri ile gerçekleştirilen sous vide pişirme işlemlerinde pişirme sıcaklığı ve süresinin artmasının kuzu etinin sarılık değerlerini yükselttiği Roldán vd. (2013) tarafından rapor edilmiş ve pişmiş etin a* renk parametresinin yoğunluğunun, denatüre olmuş miyogloblin derecesi ile ters ilişkili olduğu bildirilmiştir. Yazarlar, $60^\circ C$ 'de

pişirilen etlerde 70°C ve 80°C'de pişirilenlere göre daha yoğun bir kırmızı renk (daha yüksek a* değerleri) gözlemişler ve bu sonuçları, pişirme sıcaklığının artmasıyla miyoglobinin parçalanmasındaki artış ile yorumlamışlardır. García-Segovia vd. (2007) tarafından pişirme işlemi sonucu etlerin b* renk değerlerinde önemli bir artış rapor edilmiş ve bu durum, metmiyoglobin oluşumu ve bu proteinin artan ısı denatürasyonunun kahverengi bir renk oluşturabilmesi ile ilişkilendirilmiştir. Yazarlar, etlerin b* renk değerlerini de sous-vide yöntemiyle pişirilen numuneler için atmosferik basınç ve cook-vide yöntemi ile pişirilen bifteklere göre önemli ölçüde daha yüksek bulmuştur. Çalışmada farklı yöntemler ile pişirilen sığır etlerinin L*, a* ve b* değerlerinin sırasıyla 35-57, 1,2-5,0 ve 5-15 aralıklarında C, hue açısı ve ΔE değerlerinin ise sırasıyla 6-16, 59-83 ve 13-23 aralıklarında değiştiği rapor edilmiştir. Hong vd. (2011) tarafından domuz eti geleneksel (daldırarak) ve ohmik ısıtma ile çözündürülmüş, geleneksel çözündürmede toplam renk farkı değerleri ohmik çözündürmeye kıyasla daha yüksek bulunmuştur.

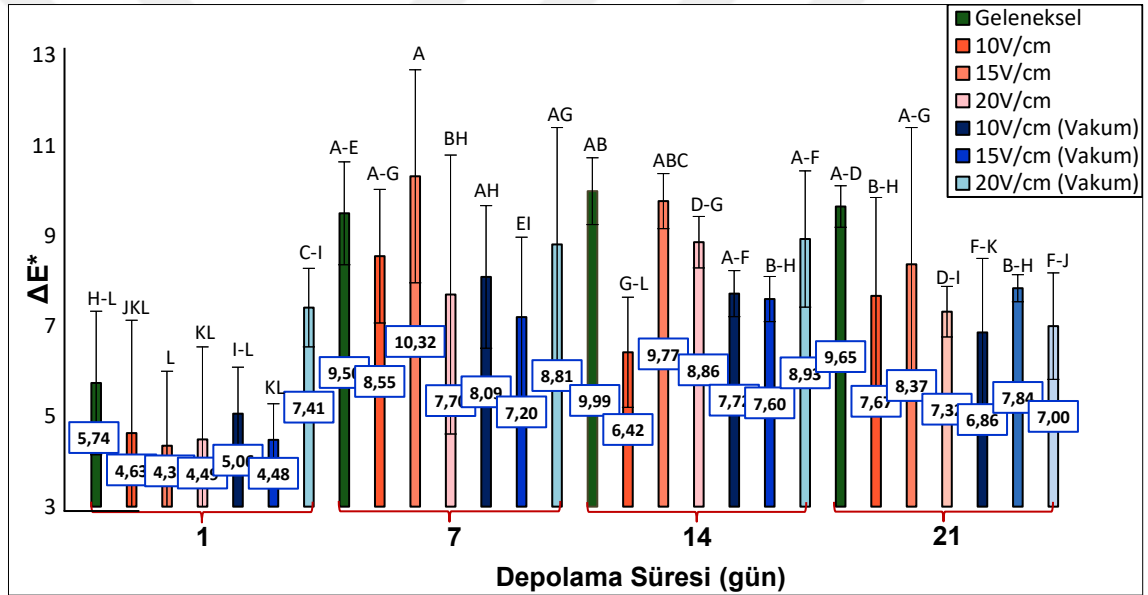
Çizelge 4.32. Sığır köfte örneklerinin dış yüzeyine ait toplam renk farkı (ΔE*), kroma farkı (ΔC*), kroma (C*), kroma indeksi (CI*) ve hue açısı değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaaj Gradyanı (V/cm)	Depolama Süresi (gün)	ΔE*	ΔC*	C*	CI*	Hue Açısı (°)
Geleneksel	-	30	11,90±1,32 ^{A*}	5,86±0,36 ^{CD}	11,51±0,51 ^A	1,02±0,10 ^{CD}	44,74±2,59 ^C
		60	6,67±0,61 ^H	6,02±0,29 ^{BC}	6,41±1,65 ^F	1,06±0,05 ^C	43,41±1,23 ^C
Atmosfer	10	30	8,16±0,27 ^{FGH}	5,61±0,15 ^{CD}	6,09±0,09 ^F	0,93±0,05 ^{CDE}	47,23±1,47 ^{BC}
		60	11,22±1,18 ^{AB}	5,28±0,35 ^D	7,59±0,15 ^{DE}	1,00±0,10 ^{CD}	45,01±2,90 ^C
	15	30	7,41±0,94 ^{GH}	4,48±0,07 ^E	8,11±0,07 ^{CD}	0,84±0,02 ^{DE}	50,07±0,46 ^A
		60	10,47±0,43 ^{ABC}	5,79±0,50 ^{CD}	10,79±0,40 ^{AB}	1,07±0,14 ^C	43,39±3,66 ^C
	20	30	10,59±0,64 ^{ABC}	5,56±0,19 ^{CD}	10,24±0,24 ^B	1,05±0,04 ^C	43,69±1,05 ^C
		60	11,96±2,53 ^A	6,70±1,31 ^{AB}	9,86±1,78 ^B	1,32±0,27 ^B	37,78±6,31 ^D
Vakum	10	30	9,85±0,41 ^{B-E}	5,75±0,38 ^{CD}	6,50±0,57 ^F	1,04±0,07 ^C	43,92±1,98 ^C
		60	9,76±1,05 ^{B-E}	6,99±0,28 ^A	6,82±0,41 ^{EF}	1,59±0,13 ^A	32,19±2,13 ^E
	15	30	10,00±0,33 ^{BCD}	6,73±0,10 ^{AB}	6,44±0,12 ^F	1,43±0,05 ^{AB}	34,96±0,99 ^{DE}
		60	8,78±1,36 ^{D-G}	5,24±0,05 ^D	10,02±0,24 ^B	0,99±0,01 ^{CD}	45,23±0,41 ^C
	20	30	8,33±1,30 ^{EF}	6,14±0,71 ^{BC}	7,95±0,46 ^{CD}	1,29±0,26 ^B	38,31±5,07 ^D
		60	9,45±0,75 ^{C-F}	4,17±0,63 ^E	8,65±0,70 ^C	0,80±0,11 ^E	51,50±3,75 ^A

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0,05).

Sığır köftelerin soğukta depolanması sırasında dış yüzeylerine ait ΔE* renk değerlerindeki değişim Şekil 4.18'de gösterilmiştir. Sığır köftelerin soğukta depolanması sırasında dış yüzeylerine ait ΔE* değerleri tüm örnekler için 4-10 aralığında bulunurken

depolamanın ilk günü için 20 V/cm voltaj gradyanında vakum altında ohmik ısıtılmalı ön pişirilmiş köfteler için bu değer 7,41 ile en yüksek bulunmuştur. Geleneksel ön pişirme işlemine maruz bırakılmış köftelerin dış yüzeyine ait ΔE^* değeri farklı depolama günleri için 5,74-9,99 arasında bulunmuştur. Et ürünlerinde lipid oksidasyonunun toplam renk değişimini arttırdığı bildirilmektedir (Faustman vd., 2010). Çalışmamızda da genel olarak soğukta depolamanın ilk gününde düşük olan toplam renk farkı değerinin depolama süresiyle birlikte arttığı, oksidasyon değerlerinin de depolama süresi boyunca artış gösterdiği gözlenmiştir. Benzer eğilim köftelerin dış yüzeylerine ait C^* değeri için de gözlenmiştir. Şekil 4.18 incelendiğinde, depolamanın ilk günü hariç diğer günleri için geleneksel ön pişirme ve atmosfer basıncı altında 15 V/cm voltaj gradyanında gerçekleşen ön pişirme işlemlerinde daha yüksek değerler gözlenmiştir.



Şekil 4.58. Sığır köfte örneklerinin dış yüzeyine ait toplam renk farkı (ΔE^*) üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın (+4°C) etkisi (Sütunlar üzerindeki farklı harfler örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0,05$)).

Farklı ohmik ısıtılmalı ön pişirme işleminin sığır köftelerin kesit yüzeylerine ait L^* , a^* ve b^* renk parametreleri üzerine soğukta depolamanın (+4°C) etkisi Çizelge 4.33'te ve dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi Çizelge 4.34'te gösterilmiştir. Soğukta depolanan sığır köftelerin kesit yüzey renk değerleri incelendiğinde dış yüzey renk değerlerine benzer şekilde depolamanın 7. günü için sayısal olarak en yüksek parlaklık değeri (56,8) atmosfer basıncı altında 10 V/cm voltaj gradyanında ohmik ısıtılmalı ön

pişirilmiş köftelerde saptanmıştır. Soğukta depolamayla birlikte köftelerin kesit yüzeylerine ait a^* ve b^* değerleri üzerine ön pişirme işleminin belirgin bir etkisi gözlenmemiştir. Depolama sürecinde birinci gün L^* değerlerine benzer olarak, Yıldız Turp (2016) ohmik ısıtmayla pişirilen köftelerin iç kısmında L^* değerinin diğer pişirme yöntemlerine göre daha düşük olduğunu rapor etmiştir. Ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminin vakum veya atmosfer basıncı altında gerçekleştirilmesinin de köftelerin soğukta depolanması süresince kesit yüzeylerine ait a^* renk parametresi değişimi üzerine belirgin bir etkisi gözlenmemiştir.

Çizelge 4.33. Sığır köfte örneklerinin kesit yüzeyine ait CIELAB renk değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın (+4°C) etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Depolama Süresi (gün)	L^*	a^*	b^*
Geleneksel	-	1	52,86±0,99 ^{G-K*}	7,85±1,36 ^{AB}	9,41±0,56 ^{A-E}
		7	56,35±1,19 ^{AB}	5,89±0,85 ^{JK}	7,73±0,49 ^{HI}
		14	54,53±0,76 ^{C-G}	6,95±0,61 ^{A-I}	8,21±0,35 ^{F-I}
		21	54,66±1,11 ^{B-F}	6,34±1,52 ^{E-J}	7,76±0,31 ^{HI}
Atmosfer	10	1	51,14±0,72 ^{KL}	6,74±0,29 ^{D-J}	9,25±0,37 ^{B-F}
		7	56,81±1,78 ^A	7,05±0,33 ^{A-H}	10,59±1,31 ^A
		14	53,23±0,73 ^{F-J}	7,41±0,26 ^{A-F}	8,82±0,63 ^{B-H}
		21	55,93±0,91 ^{A-D}	5,72±2,39 ^{JK}	9,73±1,59 ^{ABC}
	15	1	51,90±1,50 ^{I-L}	7,01±0,08 ^{A-H}	8,45±0,19 ^{D-I}
		7	56,00±2,78 ^{ABC}	6,29±0,94 ^{G-J}	9,82±1,56 ^{ABC}
		14	54,52±0,59 ^{C-G}	6,39±0,25 ^{E-J}	8,54±0,95 ^{D-I}
		21	54,32±2,20 ^{C-H}	7,09±0,51 ^{A-H}	7,38±0,90 ^I
	20	1	51,09±0,33 ^{KL}	4,85±0,32 ^K	8,13±1,07 ^{F-I}
		7	55,75±1,66 ^{A-D}	6,65±0,82 ^{D-J}	8,72±0,33 ^{C-H}
		14	52,05±1,01 ^{I-L}	7,55±0,41 ^{A-D}	9,05±0,22 ^{B-F}
		21	52,51±0,20 ^{H-L}	7,22±0,04 ^{AB-H}	8,25±0,36 ^{ABC}
Vakum	10	1	51,64±0,12 ^{JKL}	7,12±0,08 ^{A-H}	8,68±0,14 ^{C-H}
		7	55,45±2,02 ^{A-D}	6,89±0,52 ^{B-I}	9,14±0,64 ^{B-F}
		14	52,24±1,68 ^{I-L}	7,85±0,43 ^{ABC}	9,15±0,22 ^{B-F}
		21	53,63±1,47 ^{E-I}	7,41±0,73 ^{A-F}	7,45±1,57 ^{HI}
	15	1	50,87±0,49 ^L	6,33±0,11 ^{F-J}	8,20±0,02 ^{F-I}
		7	56,49±1,74 ^A	6,18±0,28 ^{HIJ}	9,55±1,03 ^{A-D}
		14	54,55±0,93 ^{C-G}	7,31±0,26 ^{A-G}	8,97±0,71 ^{B-G}
		21	54,19±0,32 ^{D-H}	7,54±0,43 ^{A-D}	7,86±0,62 ^{GHI}
	20	1	50,85±0,67 ^L	7,59±1,30 ^{A-D}	8,67±0,54 ^{C-H}
		7	55,21±0,93 ^{A-E}	6,75±0,60 ^{C-J}	9,99±1,80 ^{AB}
		14	54,28±1,34 ^{C-H}	7,43±0,17 ^{A-E}	8,19±0,08 ^{F-I}
		21	53,18±1,03 ^{F-J}	8,00±0,56 ^A	7,70±0,54 ^{HI}

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p < 0,05$).

Dondurarak depolama sırasında ise ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemine ait sığır köftelerin kesit yüzeylerine ait parlaklık değerlerinde depolama süresince az da olsa düşüşler görülmüş ve bu düşüşler atmosfer basıncında 10 V/cm voltaj gradyanı ile vakum

altında 10 ve 20 V/cm voltaj gradyanında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemleri için istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p<0,05$) (Çizelge 4.34).

Çizelge 4.34. Sığır köfte örneklerinin kesit yüzeyine ait CIELAB renk değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Depolama Süresi (gün)	L*	a*	b*
Geleneksel	-	30	51,71±1,02 ^{ABC*}	8,19±0,25 ^{ABC}	7,97±0,86 ^{ABC}
		60	52,05±1,16 ^{ABC}	8,33±0,31 ^{AB}	7,73±0,65 ^{BCD}
Atmosfer	10	30	51,58±0,54 ^{ABC}	6,66±1,16 ^{DE}	7,58±0,38 ^{BCD}
		60	50,27±1,69 ^{D-G}	7,29±1,47 ^{CD}	7,45±1,30 ^{CD}
	15	30	52,21±0,64 ^{AB}	5,40±0,11 ^F	7,51±0,47 ^{BCD}
		60	51,23±0,64 ^{B-E}	7,41±0,64 ^{BCD}	6,43±0,10 ^E
	20	30	51,66±0,48 ^{ABC}	8,12±0,13 ^{ABC}	6,46±0,14 ^E
		60	51,42±0,34 ^{A-D}	8,17±0,12 ^{ABC}	8,55±0,27 ^A
Vakum	10	30	51,35±0,46 ^{A-D}	5,78±0,40 ^{EF}	7,32±0,34 ^{CD}
		60	49,89±0,20 ^{FG}	7,35±0,30 ^{CD}	7,14±0,46 ^{DE}
	15	30	50,11±0,16 ^{EFG}	7,14±0,09 ^D	7,06±0,06 ^{DE}
		60	49,67±1,03 ^G	7,09±0,11 ^D	8,24±0,25 ^{AB}
	20	30	52,43±0,53 ^A	8,22±0,19 ^{ABC}	7,99±0,11 ^{ABC}
		60	50,92±1,07 ^{C-F}	8,41±1,24 ^A	8,71±0,55 ^A

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0,05$).

Farklı ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminin sığır köftelerinin kesit yüzeylerine ait ΔE^* , ΔC^* , C^* , CI^* ve hue açısı değerleri üzerine soğukta depolamanın ($+4^{\circ}\text{C}$) etkisi Çizelge 4.35'te ve dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi Çizelge 4.36'da sunulmuştur. Geleneksel ön pişirme işlemine maruz bırakılmış sığır köftelerin soğukta depolanması sırasında kesit yüzeylerine ait ΔE^* değeri farklı depolama günleri için 12,6-16,6 arasında olurken vakum altında ohmik ısıtmayla ön pişirilip depolanan örnekler için 11,0-16,6 aralığında belirlenmiştir. Geleneksel ön pişirilmiş örneklerin kesit yüzeylerine ait C^* değerleri depolama süresince 9,7-12,3 aralığında değişmişken vakum altında ohmik ısıtmayla ön pişirilip depolanan örneklerin C^* değerleri için daha dar bir aralık (10,4-12,1) tespit edilmiştir. Geleneksel ön pişirilmiş sığır köfteler için soğukta depolama süresinin hue açısına etkisi önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$). Depolamanın ilk ve son günleri söz konusu olduğunda vakum altında ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemi için ise (aynı voltaj gradyanı uygulanan örneklerde) soğukta depolama süresince köftelerin kesit yüzeylerine ait hue açılarında düşüşler meydana gelmiş ancak bu düşüşler istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p>0,05$).

Çizelge 4.35. Sığır köfte örneklerinin kesit yüzeyine ait toplam renk farkı (ΔE^*), kroma farkı (ΔC^*), kroma (C^*), kroma indeksi (CI^*) ve hue açısı değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın ($+4^\circ C$) etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Depolama Süresi (gün)	ΔE^*	ΔC^*	C^*	CI^*	Hue Açısı (°)
Geleneksel	-	1	12,60±1,47 ^{L-M*}	5,78±1,43 ^{HIJ}	12,31±0,48 ^{AB}	0,84±0,19 ^{B-F}	50,35±6,48 ^{D-H}
		7	16,57±0,96 ^{AB}	7,67±0,86 ^{ABC}	9,74±0,67 ^{JK}	0,77±0,11 ^{C-I}	52,82±4,12 ^{B-F}
		14	14,48±0,51 ^{D-H}	6,58±0,62 ^{C-J}	10,77±0,42 ^{E-I}	0,85±0,08 ^{B-F}	49,81±2,79 ^{D-I}
		21	14,89±1,28 ^{B-F}	7,21±1,51 ^{B-F}	10,09±0,77 ^{UK}	0,82±0,22 ^{B-H}	51,17±7,76 ^{C-H}
Atmosfer	10	1	11,68±0,58 ^{LM}	6,85±0,25 ^{B-I}	11,44±0,45 ^{B-G}	0,73±0,02 ^{D-I}	53,92±0,91 ^{A-F}
		7	16,64±1,83 ^A	6,93±0,69 ^{B-H}	12,75±0,97 ^A	0,68±0,11 ^{F-I}	56,12±4,28 ^{A-D}
		14	13,08±0,74 ^{G-L}	6,16±0,27 ^{F-J}	11,52±0,48 ^{B-G}	0,85±0,07 ^{B-F}	49,90±2,38 ^{D-I}
		21	16,41±2,02 ^{ABC}	8,00±2,61 ^{AB}	11,56±0,24 ^{B-G}	0,63±0,35 ^I	59,44±14,30 ^A
	15	1	12,13±1,31 ^{KLM}	6,52±0,08 ^{C-J}	10,98±0,15 ^{E-I}	0,83±0,02 ^{B-H}	50,33±0,73 ^{D-H}
		7	16,26±2,12 ^{ABC}	7,48±1,19 ^{B-E}	11,74±0,86 ^{A-F}	0,67±0,20 ^{GHI}	56,94±7,87 ^{ABC}
		14	14,71±0,41 ^{C-G}	7,18±0,26 ^{B-F}	10,68±0,80 ^{G-J}	0,78±0,09 ^{C-I}	53,04±3,13 ^{B-F}
		21	14,28±1,77 ^{D-I}	6,55±0,62 ^{C-J}	10,24±0,89 ^{H-K}	0,97±0,09 ^{AB}	46,04±2,93 ^{GHI}
	20	1	12,83±0,30 ^{H-L}	8,72±0,33 ^A	9,47±1,08 ^K	0,60±0,04 ^I	59,00±1,81 ^{AB}
		7	15,66±1,80 ^{A-D}	6,89±0,83 ^{B-J}	10,98±0,37 ^{E-I}	0,77±0,11 ^{C-I}	52,76±4,19 ^{B-F}
		14	12,00±0,67 ^{KLM}	6,02±0,38 ^{F-J}	11,79±0,42 ^{A-E}	0,84±0,03 ^{B-G}	50,20±0,95 ^{E-I}
		21	12,52±0,19 ^{J-M}	6,31±0,04 ^{E-J}	10,97±0,28 ^{E-I}	0,88±0,04 ^{A-D}	49,80±1,18 ^{HI}
Vakum	10	1	11,84±0,06 ^{KLM}	6,42±0,06 ^{D-J}	11,23±0,16 ^{C-H}	0,82±0,00 ^{B-H}	50,66±0,15 ^{C-H}
		7	15,32±2,04 ^{A-E}	6,71±0,55 ^{C-J}	11,45±0,48 ^{B-G}	0,76±0,09 ^{C-I}	52,96±3,33 ^{B-F}
		14	12,03±1,58 ^{KLM}	5,74±0,40 ^{IJ}	12,05±0,44 ^{A-D}	0,86±0,03 ^{B-E}	49,42±0,96 ^{E-I}
		21	13,52±1,32 ^{F-K}	6,28±0,82 ^{F-J}	10,74±1,56 ^{F-J}	0,98±0,15 ^{AB}	45,94±4,16 ^{HI}
	15	1	11,66±0,45 ^{LM}	7,20±0,11 ^{B-F}	10,36±0,05 ^{H-K}	0,77±0,01 ^{C-I}	52,36±0,56 ^{C-G}
		7	16,60±1,67 ^{AB}	7,50±0,39 ^{BCD}	11,39±0,83 ^{B-G}	0,65±0,08 ^{HI}	56,93±3,35 ^{ABC}
		14	14,32±0,77 ^{D-H}	6,27±0,29 ^{F-J}	11,58±0,61 ^{B-G}	0,82±0,06 ^{B-H}	50,75±2,19 ^{C-H}
		21	13,88±0,38 ^{E-J}	6,02±0,45 ^{F-J}	10,89±0,75 ^{E-I}	0,96±0,02 ^{AB}	46,15±0,59 ^{GHI}
	20	1	10,99±0,50 ^M	5,96±1,32 ^{G-J}	11,58±0,57 ^{B-G}	0,88±0,20 ^{A-D}	49,02±6,29 ^{F-I}
		7	15,30±0,93 ^{A-E}	7,14±0,69 ^{B-G}	12,08±1,61 ^{ABC}	0,69±0,12 ^{E-I}	55,60±4,71 ^{A-E}
		14	14,00±1,16 ^{D-J}	6,09±0,17 ^{F-J}	11,06±0,11 ^{D-I}	0,91±0,03 ^{ABC}	47,77±0,76 ^{F-I}
		21	12,80±0,71 ^{H-L}	5,57±0,62 ^J	11,11±0,74 ^{C-I}	1,04±0,04 ^A	43,90±1,14 ^I

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0,05$).

Sığır köftelerinin dondurarak depolanması sırasında kesit yüzeylerine ait ΔE^* değerleri tüm örnekler için 4,0-6,6 aralığında bulunmuştur. Dondurarak depolamayla birlikte, 15 V/cm voltaj gradyanında atmosfer basıncı altında ohmik ısıtmalı ön pişirilmiş köfte örneklerinin kesit yüzeylerine ait ΔE^* değerleri 4,04'ten 5,97'ye yükselirken 20 V/cm voltaj gradyanı için 6,58'den 5,97'ye düşmüştür ($p<0,05$). Dondurarak depolama süresince sığır köftelerinin kesit yüzeylerine ait en düşük hue açısı ($38,5^\circ$) 20 V/cm voltaj gradyanında atmosfer basıncı altında ohmik ısıtmayla ön pişirilmiş ve 30 gün depolanmış köfte örneklerinde bulunmuş ($p<0,05$) ve 15 V/cm voltaj gradyanında pişirilip 60 gün depolanan örneğin hue açısı ($41,0$) ile aralarındaki fark istatistiksel açıdan önemsiz olmuştur ($p>0,05$).

Çizelge 4.36. Sığır köfte örneklerinin kesit yüzeyine ait toplam renk farkı (ΔE^*), kroma farkı (ΔC^*), kroma (C^*), kroma indeksi (CI^*) ve hue açısı değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Depolama Süresi (gün)	ΔE^*	ΔC^*	C^*	CI^*	Hue Açısı ($^\circ$)
Geleneksel	-	30	6,11 $\pm$ 0,30 ^{ABC*}	5,94 $\pm$ 0,39 ^{ABC}	11,45 $\pm$ 0,57 ^{ABC}	1,04 $\pm$ 0,12 ^{CD}	44,12 $\pm$ 3,38 ^{DEF}
		60	6,38 $\pm$ 0,41 ^{AB}	6,14 $\pm$ 0,12 ^{AB}	11,36 $\pm$ 0,68 ^{A-D}	1,08 $\pm$ 0,05 ^{BC}	42,80 $\pm$ 1,32 ^{EF}
Atmosfer	10	30	4,82 $\pm$ 0,95 ^{FG}	4,70 $\pm$ 0,95 ^{DE}	10,11 $\pm$ 0,91 ^{FG}	0,88 $\pm$ 0,14 ^{EF}	48,95 $\pm$ 4,63 ^{BC}
		60	5,73 $\pm$ 0,44 ^{BCD}	5,53 $\pm$ 0,38 ^{BC}	10,42 $\pm$ 1,95 ^{CDE}	0,98 $\pm$ 0,04 ^{DE}	45,75 $\pm$ 1,34 ^{DE}
	15	30	4,04 $\pm$ 0,24 ^H	3,67 $\pm$ 0,34 ^F	9,25 $\pm$ 0,36 ^G	0,72 $\pm$ 0,05 ^H	54,23 $\pm$ 2,01 ^A
		60	5,97 $\pm$ 0,59 ^{A-D}	5,92 $\pm$ 0,54 ^{ABC}	9,81 $\pm$ 0,47 ^{EFG}	1,15 $\pm$ 0,11 ^B	41,04 $\pm$ 2,67 ^{FG}
	20	30	6,58 $\pm$ 0,09 ^A	6,49 $\pm$ 0,08 ^A	10,37 $\pm$ 0,18 ^{DEF}	1,26 $\pm$ 0,02 ^A	38,49 $\pm$ 0,44 ^G
		60	5,79 $\pm$ 0,09 ^{BCD}	5,72 $\pm$ 0,07 ^{BC}	11,82 $\pm$ 0,27 ^{AB}	0,96 $\pm$ 0,02 ^{DEF}	46,31 $\pm$ 0,61 ^{CD}
Vakum	10	30	4,17 $\pm$ 0,29 ^{GH}	4,09 $\pm$ 0,35 ^{EF}	9,33 $\pm$ 0,37 ^{EFG}	0,79 $\pm$ 0,06 ^{GH}	51,70 $\pm$ 2,25 ^{AB}
		60	5,55 $\pm$ 0,17 ^{CDE}	5,49 $\pm$ 0,15 ^{BC}	10,25 $\pm$ 0,51 ^{CDE}	1,03 $\pm$ 0,04 ^{CD}	44,14 $\pm$ 1,12 ^{DEF}
	15	30	5,36 $\pm$ 0,08 ^{DEF}	5,34 $\pm$ 0,07 ^{CD}	10,04 $\pm$ 0,09 ^{EFG}	1,01 $\pm$ 0,01 ^{CD}	44,67 $\pm$ 0,34 ^{DE}
		60	4,96 $\pm$ 0,21 ^{EF}	4,78 $\pm$ 0,06 ^D	10,87 $\pm$ 0,25 ^{B-E}	0,86 $\pm$ 0,02 ^{FG}	49,28 $\pm$ 0,54 ^{BC}
	20	30	6,20 $\pm$ 0,30 ^{ABC}	5,92 $\pm$ 0,18 ^{ABC}	11,47 $\pm$ 0,18 ^{ABC}	1,03 $\pm$ 0,02 ^{CD}	44,20 $\pm$ 0,68 ^{DE}
		60	6,02 $\pm$ 1,22 ^{A-D}	5,95 $\pm$ 1,19 ^{ABC}	12,12 $\pm$ 1,14 ^A	0,97 $\pm$ 0,12 ^{DEF}	46,18 $\pm$ 3,45 ^{CD}

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0,05$).

Kısa pişirme süresi ve daha düşük oksijen maruziyeti sayesinde ohmik ısıtmada miyoglobinin oksidatif reaksiyonlarının azaltılabildiği belirtilmektedir (Dai vd., 2013). Bozkurt ve Icier (2010) geleneksel ve ohmik ısıtmalı pişirme (20-40 V) ile merkez sıcaklığı 70°C 'ye yükseltileen sığır etinde, ohmik ısıtmalı pişirme sonucu daha düşük a^* renk değerleri saptamışlardır. Engchuan vd. (2014) ohmik ısıtma yöntemiyle daha hızlı pişirilen köfte örneklerinde a^* renk değerinin daha yüksek olabildiğini, geleneksel yöntemle pişirilen köftelerin kırmızılık ve hue açısı değerlerinin ohmik ısıtmayla pişirilen ürünlerden önemli ölçüde daha yüksek olduğunu rapor etmiştir. Yazarlar bu durumu, özellikle Maillard Reaksiyonu başta olmak üzere kahverengileşme reaksiyonlarının, geleneksel yöntemle pişirilen köfte örneklerinde ohmik ısıtma ile pişirilen örneklerden daha fazla meydana gelebilmesiyle açıklamıştır. Köfte örneklerine 15,26 V/cm voltaj gradyanında 70 , 75 ve 80°C son merkez sıcaklıklarına kadar uygulanan ohmik ısıtmalı pişirme işleminin etkisinin değerlendirildiği bir çalışmada (Şengün vd., 2013) farklı merkez sıcaklıklarına kadar pişirmenin örneklerin renk özelliklerini etkilediği belirlenmiştir. Ohmik ısıtmayla pişirilen örneklerin kesitine ait L^* renk değerleri üç farklı merkez sıcaklığı için 38,13-39,22 arasında, a^* renk değerleri için 9,17-10,79 arasında ve b^* renk değerleri için ise 7,33-7,47 arasında saptanmıştır. Araştırmacılar, ΔC^* değer aralığını 5,43-7,05 ve C^* değerlerini 11,75-13,13 aralığında rapor etmişlerdir. Çalışmamızdan elde edilen renk değer aralıklarının bu bulgular ile uyumlu olduğu belirlenmiştir.

4.11. Tekstürel Özelliklerin Depolama ile Değişimine Ait Bulgular

4.11.1. Tavuk Eti Köfteleri

Farklı ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminin bütün haldeki tavuk köftelere ait TPA sonuçları (sertlik, elastikiyet, yapışkanlık, çiğnenebilirlik ve bağlılık gibi) üzerine soğukta depolamanın (+4°C) etkisi Çizelge 4.37’de ve dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi Çizelge 4.38’de sunulmuştur. Bütün haldeki tavuk köftelere ait sertlik değerleri incelendiğinde geleneksel ön pişirme yöntemi için depolamanın ilk gününde 76,2 N değeri elde edilmişken, atmosfer basıncında 10, 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanındaki ohmik ısıtmayla ön pişirilmiş köftelerde sırasıyla 133,6, 145,4 ve 108,4 N olan daha yüksek sertlik değerleri bulunmuştur ($p<0,05$). Benzer şekilde, vakum altında 10, 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanındaki ohmik ısıtmayla ön pişirilmiş köftelerdeki sırasıyla 136,5, 125,8 ve 102,0 N olan sertlik değerleri de depolamanın ilk gününde geleneksel ön pişirilmiş köftelere göre daha yüksek olmuştur ($p<0,05$) (Çizelge 4.37). Vakum altında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirmede voltaj gradyanı arttıkça bütün haldeki tavuk köftelerin sertlik değerlerinde düşmeler gözlenmiş, soğukta depolamayla birlikte sertliklerde artışlar tüm örneklerde gözlenmiştir. Benzer eğilim köfte örneklerinin elastikiyet değerlerinde de görülmüştür. Geleneksel yöntemle ön pişirilmiş köfte örneklerinin soğukta depolanması sırasında çiğnenebilirlik değerleri 49,5-69,0 N arasında, yapışkanlık değerleri ise 56,2-73,9 N arasında bulunmuş ve depolama süresi arttıkça hem çiğnenebilirlik hem de yapışkanlık kuvvetlerinde artışlar gözlenmiştir. Geleneksel ön pişirilmiş (bütün haldeki) köfte örneklerine ait sertlik değerleri dondurarak depolamanın 30.gününde 106,6 N iken 60.günde sertlik değeri 119,7 N değerine yükselmiştir ($p<0,05$) (Çizelge 4.38). Bunun aksine, atmosfer basıncında 10, 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanındaki ohmik ısıtmalı ön pişirilmiş köftelerde dondurarak depolamanın ilk gününde (30.gün) sırasıyla 153,5, 168,1 ve 154,2 N olan sertlik değerleri depolamanın son gününde (60.gün) sırasıyla 139,8, 140,6 ve 136,2 N düzeylerine düşmüştür ($p<0,05$). Benzer düşüşler vakum altındaki ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemi için de gözlenmiştir. Çiğnenebilirlik ve elastikiyet açısından dondurarak depolamanın etkisi tüm örnekler için istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$).

Çizelge 4.37. Bütün haldeki tavuk köfte örneklerine ait tekstür profili analizi sonuçları üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın (+4°C) etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyamı (V/cm)	Dep. Süresi (gün)	Sertlik (N)	Elastikiyet	Yapışkanlık (N)	Çiğnenebilirlik (N)	Bağlılık
Geleneksel	-	1	76,22±10,27 ^{P*}	0,89±0,15 ^{A-D}	56,17±7,37 ^M	50,41±11,69 ^I	0,74±0,01 ^{AB}
		7	89,93±4,54 ^{OP}	0,81±0,09 ^{C-F}	61,08±3,71 ^{LM}	49,52±8,44 ^I	0,70±0,01 ^{A-F}
		14	93,09±4,11 ^{NO}	1,00±0,00 ^A	68,72±7,92 ^{KLM}	68,99±8,22 ^{E-H}	0,74±0,06 ^{AB}
		21	105,41±2,18 ^{MN}	0,87±0,12 ^{B-E}	73,88±4,43 ^{JKL}	64,51±12,89 ^{F-I}	0,70±0,03 ^{A-F}
Atmosfer	10	1	133,59±13,23 ^{GHI}	0,78±0,18 ^{DEF}	91,43±7,44 ^N	60,52±5,15 ^{GHI}	0,69±0,03 ^{A-F}
		7	140,31±4,66 ^{F-I}	0,73±0,01 ^F	98,00±6,83 ^{C-G}	71,38±6,08 ^{E-H}	0,70±0,03 ^{A-F}
		14	170,03±4,75 ^{AB}	0,79±0,09 ^{C-F}	117,36±5,68 ^{AB}	93,25±14,71 ^{ABC}	0,69±0,01 ^{A-F}
		21	186,02±13,84 ^A	0,84±0,02 ^{C-F}	112,45±2,33 ^{ABC}	94,28±4,18 ^{AB}	0,61±0,03 ^H
	15	1	145,44±9,37 ^{D-G}	0,89±0,10 ^{A-D}	93,90±3,66 ^{D-H}	79,59±1,51 ^{B-F}	0,65±0,02 ^{E-H}
		7	150,01±5,90 ^{C-F}	0,91±0,13 ^{ABC}	101,92±0,23 ^{B-F}	92,73±12,91 ^{A-D}	0,68±0,03 ^{A-G}
		14	157,75±15,49 ^{B-E}	0,77±0,07 ^{DEF}	105,34±12,78 ^{A-D}	76,09±11,21 ^{C-G}	0,67±0,02 ^{C-H}
		21	165,92±26,29 ^B	0,88±0,12 ^{A-D}	117,61±1,58 ^A	104,82±9,72 ^A	0,68±0,07 ^{A-G}
	20	1	108,42±9,77 ^{LMN}	0,87±0,16 ^{B-E}	87,22±9,51 ^{F-J}	75,07±0,84 ^{D-G}	0,70±0,04 ^{A-F}
		7	114,93±6,76 ^{J-M}	0,98±0,02 ^{AB}	82,08±7,51 ^{H-K}	80,90±9,31 ^{B-F}	0,71±0,02 ^{A-E}
		14	137,98±2,31 ^{F-I}	0,81±0,07 ^{CDEF}	102,94±10,41 ^{A-E}	82,91±17,61 ^{B-E}	0,68±0,04 ^{B-G}
		21	151,49±0,13 ^{C-F}	0,75±0,02 ^{EF}	105,30±5,29 ^{A-D}	79,03±5,90 ^{B-F}	0,70±0,04 ^{A-F}
Vakum	10	1	136,46±10,60 ^{F-I}	0,81±0,15 ^{C-F}	87,39±9,70 ^{E-J}	67,38±17,27 ^{E-I}	0,71±0,02 ^{A-F}
		7	137,43±4,11 ^{F-I}	0,80±0,09 ^{C-F}	93,47±11,91 ^{D-H}	75,34±17,67 ^{C-G}	0,68±0,07 ^{A-G}
		14	143,86±5,81 ^{EF}	0,80±0,04 ^{C-F}	95,06±7,86 ^{D-H}	76,63±10,57 ^{B-G}	0,66±0,03 ^{D-H}
		21	173,04±8,17 ^{AB}	0,73±0,05 ^F	111,76±11,39 ^{ABC}	81,38±14,04 ^{B-F}	0,65±0,04 ^{FGH}
	15	1	125,81±4,46 ^{H-K}	0,88±0,19 ^{A-D}	91,04±4,55 ^{D-I}	56,15±2,18 ^{HI}	0,73±0,02 ^{ABC}
		7	124,47±1,17 ^{H-K}	0,79±0,15 ^{C-F}	77,23±3,31 ^{JK}	60,49±8,78 ^{GHI}	0,62±0,02 ^{GH}
		14	130,67±3,65 ^{GHIJ}	0,89±0,04 ^{A-D}	93,64±9,25 ^{D-H}	82,96±4,61 ^{B-E}	0,72±0,05 ^{A-E}
		21	165,11±24,37 ^{BC}	0,79±0,05 ^{C-F}	117,29±10,47 ^{AB}	92,99±13,80 ^{A-D}	0,71±0,04 ^{A-E}
	20	1	101,99±8,63 ^{MNO}	0,81±0,15 ^{C-F}	73,87±5,76 ^{JKL}	67,30±13,17 ^{E-I}	0,72±0,02 ^{ABCD}
		7	109,93±3,96 ^{KLM}	0,89±0,06 ^{A-D}	77,49±2,02 ^{JK}	68,68±6,55 ^{E-H}	0,71±0,01 ^{A-F}
		14	123,97±5,95 ^{I-L}	0,73±0,01 ^F	83,66±3,14 ^{G-K}	60,81±1,46 ^{GHI}	0,68±0,01 ^{B-G}
		21	161,36±15,60 ^{BCD}	0,72±0,03 ^F	99,35±0,05 ^{C-F}	74,03±10,45 ^{E-H}	0,66±0,02 ^{D-H}

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0,05).

Çizelge 4.38. Bütün haldeki tavuk köfte örneklerine ait tekstür profili analizi sonuçları üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyamı (V/cm)	Dep. Süresi (gün)	Sertlik (N)	Elastikiyet	Yapışkanlık (N)	Çiğnenebilirlik (N)	Bağlılık
Geleneksel	-	30	106,55±1,69 ^{F*}	0,730,01 ^B	78,25±5,53 ^{EF}	51,17±5,15 ^C	0,68±0,03 ^A
		60	119,70±1,41 ^E	0,73±0,01 ^B	83,83±2,31 ^{DEF}	61,48±0,92 ^{BC}	0,70±0,03 ^{AB}
Atmosfer	10	30	153,48±6,96 ^B	0,73±0,01 ^B	104,42±9,02 ^{ABC}	76,16±5,11 ^{ABC}	0,68±0,03 ^{AB}
		60	139,75±1,91 ^{CD}	0,74±0,01 ^B	84,72±5,70 ^{DEF}	62,29±4,79 ^{BC}	0,61±0,03 ^B
	15	30	168,11±5,13 ^A	0,84±0,00 ^{AB}	118,33±8,04 ^A	84,34±17,88 ^{AB}	0,71±0,07 ^A
		60	140,60±15,27 ^{CD}	0,73±0,01 ^B	96,67±20,88 ^{B-E}	70,42±13,87 ^{ABC}	0,68±0,07 ^{AB}
	20	30	154,21±5,29 ^B	0,82±0,01 ^{AB}	113,55±15,88 ^{AB}	92,94±12,20 ^A	0,74±0,08 ^A
		60	136,20±6,36 ^{CD}	0,76±0,03 ^{AB}	94,55±0,39 ^{CDE}	71,47±2,91 ^{ABC}	0,70±0,04 ^{AB}
Vakum	10	30	139,49±2,95 ^{CD}	0,86±0,17 ^A	94,16±2,98 ^{CDE}	81,33±18,41 ^{AB}	0,68±0,01 ^{AB}
		60	132,40±7,07 ^{CD}	0,78±0,04 ^{AB}	85,52±9,24 ^{DEF}	66,79±10,22 ^{BC}	0,65±0,04 ^{AB}
	15	30	141,28±0,74 ^C	0,84±0,01 ^{AB}	99,62±5,52 ^{A-D}	83,56±5,83 ^{AB}	0,71±0,04 ^A
		60	128,60±1,70 ^{DE}	0,79±0,05 ^{AB}	91,73±6,67 ^{CDE}	72,10±0,33 ^{ABC}	0,71±0,04 ^A
	20	30	128,96±1,92 ^{DE}	0,82±0,10 ^{AB}	87,36±0,06 ^{CDE}	71,86±8,52 ^{ABC}	0,68±0,01 ^{AB}
		60	102,00±1,13 ^F	0,82±0,03 ^{AB}	66,82±2,90 ^F	54,87±4,23 ^C	0,66±0,02 ^{AB}

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0,05).

Farklı ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminin yüzeyi trimlenmiş (~2mm) tavuk köftelere ait TPA sonuçları (sertlik, elastikiyet, yapışkanlık, çiğnenebilirlik ve bağlılık gibi) üzerine soğukta (+4°C) ve dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi sırasıyla Çizelge 4.39 ve Çizelge 4.40'ta sunulmuştur. Yüzeyi trimlenmiş tavuk köftelerin soğukta depolama sırasındaki sertlik değerleri incelendiğinde, depolama süresi arttıkça tüm örneklerin sertlik değerlerinde artışlar görülmüştür. Geleneksel ön pişirme işlemi için 97,4 N olan sertlik değeri 21 gün soğukta depolama sonunda 182,3 N değerine yükselmiştir ($p<0,05$). Ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminin vakum altında yapılmasıyla yüzeyi trimlenmiş köftelerin sertlik değerleri önemli düzeyde azalmıştır ($p<0,05$). Voltaj gradyanı arttıkça köftelerin sertlik değerlerinin de genel olarak azaldığı, vakum altında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemi için depolamanın ilk günü hariç fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$) (Çizelge 4.39).

Çizelge 4.39. Yüzeyi trimlenmiş (~2 mm) tavuk köfte örneklerine ait tekstür profili analizi sonuçları üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın (+4°C) etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Dep. Süresi (gün)	Sertlik (N)	Elastikiyet	Yapışkanlık (N)	Çiğnenebilirlik (N)	Bağlılık
Geleneksel	-	1	97,40±9,61 ^{J*}	0,99±0,01 ^A	61,10±6,00 ^{G-J}	63,24±5,64 ^{B-G}	0,65±0,03 ^{HIJ}
		7	126,90±8,27 ^{FG}	0,86±0,13 ^{A-E}	87,73±5,94 ^{CDE}	74,60±6,60 ^{A-E}	0,69±0,00 ^{B-J}
		14	165,06±3,33 ^B	0,78±0,10 ^{CDE}	135,74±28,31 ^A	90,82±11,03 ^A	0,70±0,01 ^{B-J}
		21	182,30±3,44 ^A	0,73±0,01 ^{DE}	117,31±16,82 ^{AB}	85,71±12,23 ^{AB}	0,64±0,10 ^J
Atmosfer	10	1	96,27±14,39 ^J	0,91±0,14 ^{A-D}	61,10±10,55 ^{G-L}	54,74±3,49 ^{E-I}	0,63±0,05 ^J
		7	133,56±4,12 ^{EF}	0,76±0,06 ^{DE}	87,16±1,32 ^{CDE}	66,48±6,35 ^{B-F}	0,65±0,01 ^{G-J}
		14	149,55±9,26 ^{CD}	0,81±0,02 ^{A-E}	104,65±2,17 ^{BC}	85,09±3,64 ^{AB}	0,70±0,03 ^{B-J}
		21	158,75±4,53 ^{BC}	0,73±0,03 ^{DE}	101,35±7,73 ^{BC}	44,33±3,45 ^{FGHI}	0,66±0,06 ^{F-J}
	15	1	94,70±12,26 ^{JK}	0,90±0,02 ^{A-D}	64,27±7,19 ^{F-J}	57,46±5,42 ^{D-I}	0,68±0,06 ^{B-J}
		7	101,07±4,39 ^{IJ}	0,98±0,01 ^{AB}	74,59±5,60 ^{D-G}	72,82±4,99 ^{A-E}	0,74±0,02 ^{A-E}
		14	141,43±3,30 ^{DE}	0,82±0,06 ^{A-E}	96,37±4,15 ^C	79,43±8,73 ^{A-D}	0,68±0,01 ^{B-J}
		21	152,31±2,78 ^{BCD}	0,88±0,17 ^{A-E}	98,34±1,39 ^{BC}	86,74±17,93 ^{AB}	0,65±0,01 ^{HIJ}
	20	1	77,23±6,23 ^{LM}	0,95±0,05 ^{ABC}	56,40±2,66 ^{G-L}	53,57±5,24 ^{E-I}	0,73±0,02 ^{A-H}
		7	97,28±2,75 ^J	0,85±0,19 ^E	68,54±5,24 ^{E-I}	58,52±17,66 ^{C-I}	0,70±0,03 ^{B-J}
		14	130,67±16,21 ^{EF}	0,76±0,04 ^{DE}	90,65±16,47 ^{CD}	69,27±15,93 ^{A-E}	0,69±0,04 ^{B-I}
		21	148,51±4,33 ^{CD}	0,82±0,10 ^{B-E}	99,64±7,19 ^{BC}	81,55±15,60 ^{ABC}	0,68±0,06 ^{C-J}
Vakum	10	1	59,80±11,10 ^{NO}	0,95±0,04 ^{ABC}	45,37±7,29 ^{JKL}	43,08±5,13 ^{F-I}	0,76±0,02 ^{AB}
		7	92,02±0,97 ^{JK}	0,70±0,13 ^E	63,61±3,40 ^{G-K}	44,59±10,69 ^{F-I}	0,69±0,03 ^{B-J}
		14	115,41±7,47 ^{GH}	0,84±0,04 ^{A-E}	84,59±8,86 ^{CDE}	71,82±18,66 ^{A-E}	0,73±0,11 ^{A-G}
		21	126,58±16,11 ^{FG}	0,79±0,05 ^{B-E}	84,59±8,86 ^{C-F}	66,95±2,86 ^{A-F}	0,67±0,02 ^{D-J}
	15	1	56,76±0,92 ^{NO}	0,87±0,13 ^{A-E}	43,26±0,24 ^{KL}	37,82±5,99 ^{HI}	0,76±0,01 ^{AB}
		7	68,41±9,91 ^{MN}	0,86±0,03 ^{A-E}	50,25±6,80 ^{I-L}	43,29±4,35 ^{F-I}	0,74±0,01 ^{A-F}
		14	81,99±5,24 ^{KL}	0,99±0,02 ^A	60,78±2,04 ^{G-L}	60,12±1,02 ^{C-H}	0,74±0,07 ^{A-D}
		21	112,60±2,47 ^{HI}	0,80±0,01 ^{A-E}	75,88±0,45 ^{D-G}	60,95±0,79 ^{C-H}	0,67±0,01 ^{C-J}
	20	1	53,94±2,33 ^O	0,86±0,12 ^{A-E}	40,86±1,59 ^L	34,95±4,25 ^I	0,75±0,00 ^{ABC}
		7	51,75±4,25 ^O	0,79±0,09 ^{CDE}	99,64±7,19 ^{H-L}	41,20±8,62 ^{GHI}	0,72±0,05 ^{B-I}
		14	58,17±1,26 ^{NO}	0,78±0,30 ^{CDE}	45,76±2,11 ^{JKL}	35,90±15,26 ^I	0,79±0,02 ^A
		21	94,26±10,49 ^{JK}	0,81±0,01 ^{A-E}	71,81±20,88 ^{D-H}	58,37±17,94 ^{C-I}	0,66±0,00 ^{E-J}

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0,05$).

Atmosfer basıncında ohmik ısıtmalı ön pişirme için 10, 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanında işlem gören köftelerin soğukta depolamanın ilk gününde sertlik değerleri sırasıyla 96,3 94,7 ve 77,2 N iken işlemin vakum altında yapılmasıyla bu değerler 59,8, 56,8 ve 53,9 N düzeyine gerilemiştir ($p<0,05$) (Çizelge 4.39). Hem bütün haldeki hem de yüzeyi trimlenmiş tavuk köfteler için elastikiyet değerleri depolama süresi boyunca genel olarak azalmıştır. Dai vd. (2014) soğukta depolamanın sonunda pişmiş domuz etinde sertlik, çiğnenebilirlik ve sakızimsılık değerlerinin önemli ölçüde arttığı bildirirken, Ganhão vd. (2010) buzdolabında muhafaza sırasında pişirilmiş et ürünlerinde sertliğin arttığını rapor etmiştir. Proteinlerdeki oksidatif hasarın, protein karbonillerinin ve proteinler arasındaki çapraz bağların oluşumu gibi etmenlerin protein tiol gruplarının ve proteinin işlevselliğinin kaybı yoluyla pişmiş ette sertliğin artmasına neden olabilmektedir (Ganhão vd., 2010). Her bir pişirme türü için, dondurarak depolama süresinin yüzeyi trimlenmiş tavuk köftelerin sertlik, elastikiyet ve enerji değerleri üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p>0,05$).

Çizelge 4.40. Yüzeyi trimlenmiş (~2 mm) tavuk köfte örneklerine ait tekstür profili analizi sonuçları üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi

Pişirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Dep. Süre. (gün)	Sertlik (N)	Elastikiyet	Yapışkanlık (N)	Çiğnenebilirlik (N)	Bağlılık
Geleneksel	-	30	122,72±12,77 ^{A*}	0,73±0,00 ^{AB}	85,52±3,89 ^{AB}	62,47±2,90 ^{ABC}	0,70±0,04 ^{B-E}
		60	125,87±5,84 ^A	0,73±0,02 ^{AB}	86,86±4,02 ^A	63,32±3,19 ^{AB}	0,69±0,01 ^{CDE}
Atmosfer	10	30	114,52±16,91 ^{AB}	0,85±0,20 ^A	79,02±6,30 ^{ABC}	66,33±10,58 ^A	0,69±0,05 ^{CDE}
		60	113,99±2,41 ^{AB}	0,77±0,03 ^{AB}	75,23±1,59 ^{ABC}	58,17±1,16 ^{A-D}	0,66±0,00 ^E
	15	30	102,19±8,17 ^{BC}	0,79±0,11 ^{AB}	75,26±4,57 ^{ABC}	58,84±4,39 ^{ABC}	0,74±0,01 ^{ABC}
		60	102,22±3,51 ^{BC}	0,74±0,05 ^{AB}	77,07±2,64 ^{ABC}	57,05±1,64 ^{A-D}	0,75±0,00 ^A
	20	30	99,12±2,95 ^{BCD}	0,76±0,05 ^{AB}	74,15±0,67 ^{ABC}	56,03±4,13 ^{A-D}	0,74±0,03 ^{AB}
		60	99,44±2,63 ^{BCD}	0,79±0,02 ^{AB}	70,92±22,14 ^{CDE}	53,71±0,33 ^{A-E}	0,68±0,00 ^{DE}
Vakum	10	30	87,81±7,21 ^{CDE}	0,70±0,09 ^B	64,75±4,89 ^{CDE}	44,78±2,55 ^{DE}	0,74±0,00 ^{ABC}
		60	95,11±0,52 ^{CD}	0,78±0,04 ^{AB}	63,72±0,34 ^{CDE}	49,52±0,54 ^{B-E}	0,67±0,00 ^E
	15	30	75,63±5,98 ^{EF}	0,77±0,02 ^{AB}	58,01±7,62 ^{DE}	44,30±4,60 ^{DE}	0,77±0,04 ^A
		60	89,63±10,12 ^{CDE}	0,75±0,01 ^{AB}	65,43±7,39 ^{CDE}	49,22±4,82 ^{CDE}	0,73±0,00 ^{A-D}
	20	30	68,08±4,69 ^F	0,78±0,04 ^{AB}	53,22±6,02 ^E	41,19±2,71 ^E	0,78±0,03 ^A
		60	84,19±4,96 ^{DEF}	0,80±0,02 ^{AB}	70,92±22,14 ^{BCD}	56,95±19,11 ^{A-D}	0,69±0,01 ^{DE}

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0,05$).

Ohmik ısıtma ile pişirilmiş et ürünlerinin geleneksel yöntemlerle pişirilen örneklerle kıyasla tekstürel özelliklerinin mukayese edildiği ve farklı sonuçların elde edildiği literatür çalışmaları mevcuttur. Yıldız Turp (2016) farklı yöntemlerle (ızgarada, fırında, tavada ve ohmik ısıtmayla) pişirilmiş keten tohumu unu ile zenginleştirilmiş az yağlı İnegöl köftelerde en yüksek sertlik değerini ohmik pişirme yöntemi için rapor etmiştir.

Başka bir çalışmada (Bozkurt ve Icier, 2010), ohmik ısıtma yöntemiyle pişirilen sığır kıyma örneklerinin geleneksel yöntemle pişirilenlere göre daha sert olduğu ortaya koyulmuştur. Piette vd. (2004) ohmik ısıtmayla pişirilmiş salam emülsiyonunun, tütüsü odasında geleneksel pişirilmiş numunelerden önemli ölçüde daha yumuşak olduğunu bildirmiştir. Ohmik ısıtmayla pişirilmiş et ürünlerinde tekstürel değişikliklerde olumlu gelişmenin elde edilmesinin, proses parametrelerinin optimizasyonuna bağlı olduğu belirtilmiştir (Yıldız-Turp vd., 2013). Zell vd. (2009) ohmik ısıtmayla pişirilmiş et parçalarının bazı kalite parametrelerini buharda pişirme tekniği ile karşılaştırmış, etlerde ohmik ısıtmanın geleneksel pişirmeden daha az pişirme kaybına neden olduğunu ancak etlerin daha sert bir dokuya sahip olduğunu saptamıştır. Ohmik ısıtmalı ve geleneksel (buharlı konveksiyon fırında pişirme) pişirilmiş sosislerin karşılaştırıldığı bir çalışmada (Shirsat vd., 2004b), ohmik ısıtmada yüksek voltaj gradyanlarının daha hızlı ısıtma sağladığı rapor edilmiştir. Ohmik ısıtmayla ve geleneksel yöntemle pişirilmiş sosislerin, elastikiyet değeri dışında değerlendirilen tekstürel özelliklerin hiçbirinde istatistiksel olarak önemli bir fark saptanmamıştır. Shirsat vd. (2004a) pişirilmiş et emülsiyonlarının tekstürel özelliklerinin, ürünün su bağlama kabiliyetinden etkilendiğini belirtmiştir. Yazarlar ayrıca, farklı ısıtma hızları ve yöntemlerinin etlerdeki su tutma özellikleri üzerine etkileri olduğunu rapor etmişler, geleneksel yöntemle (buharla) pişirilen örneklerin, ohmik ısıtmayla pişirilen örneklere göre daha az su tutabildiğini bildirmiştir. Engchuan vd. (2014) ohmik ısıtma ile yavaş pişirilen köftelerin, ohmik ısıtma ile hızlı pişirilenlere göre önemli ölçüde daha sert olduğunu bildirmiştir. Bu durum, azalan hız ile uzun pişirme sürelerinin köftede bulunan proteinin sıkı jel yapısı ve protein matrisinin oluşumunu artırması ile açıklanmıştır (Camou vd., 1989; Barbut ve Mittal, 1990). Çalışmamızda vakum altında gerçekleştirilen denemelerden elde edilen kesit sertlik değerlerinin daha düşük oluşu nispeten daha kısa işlem süresi ve daha düşük pişirme kayıplarının eldesi ile açıklanabilir.

4.11.2. Sığır Eti Köfteleri

Farklı ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminin bütün haldeki sığır köftelerine ait TPA sonuçları (sertlik, elastikiyet, yapışkanlık, çiğnenebilirlik ve bağlılık gibi) üzerine soğukta depolamanın (+4°C) etkisi Çizelge 4.41’de ve dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi Çizelge 4.42’de sunulmuştur. Bütün haldeki sığır köftelere ait sertlik değerleri incelendiğinde geleneksel ön pişirme yöntemi için soğukta depolamanın ilk gününde 63,9 N değeri elde edilmişken, atmosfer basıncında 10 V/cm voltaj gradyanında ohmik ısıtmalı

ön pişirilmiş köftelerde (80,2 N) daha yüksek sertlik değeri bulunmuş ($p<0,05$) ancak 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanlarında istatistiksel açıdan benzer sertlik değerleri (sırasıyla 71,7 ve 60,2 N) tespit edilmiştir ($p>0,05$). Buna karşın, vakum basıncı altında 20 V/cm voltaj gradyanında ohmik ısıtmalı ön pişirilmiş sığır köftelerdeki sertlik değeri 44,7'ye düşmüş ve soğukta depolamanın ilk günündeki bu değer geleneksel ön pişirilmiş köftelerden istatistiksel açıdan önemli düzeyde daha düşük bulunmuştur ($p<0,05$) (Çizelge 4.41). Voltaj gradyanı 20 V/cm düzeyi için, ohmik ısıtmanın vakum altında gerçekleştirilmesi sığır köftelerin sertlik değerlerini anlamlı düzeyde düşürmüştür ($p<0,05$). Tüm köfte örnekleri için soğukta depolama süresince örneklerin sertlik ve çiğnenebilirlik değerlerinde önemli artışlar görülmüş ancak köftelerin elastikiyet değerleri üzerine uygulanan ön pişirme türü veya soğukta depolama süresi genel olarak etkisiz bulunmuştur.

Çizelge 4.41. Bütün haldeki sığır köfte örneklerine ait tekstür profili analizi sonuçları üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın (+4°C) etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Dep. Sür. (gün)	Sertlik (N)	Elastikiyet	Yapışkanlık (N)	Çiğnenebilirlik (N)	Bağlılık
Geleneksel	-	1	63,90±13,26 ^{JK*}	0,97±0,00 ^A	46,79±10,03 ^{I-M}	46,28±12,13 ^{D-H}	0,73±0,02 ^{A-E}
		7	73,58±16,96 ^{E-I}	0,90±0,10 ^{AB}	51,75±15,16 ^{F-K}	45,98±8,29 ^{D-H}	0,70±0,05 ^{B-E}
		14	99,15±14,23 ^{BC}	0,84±0,16 ^{ABC}	71,49±7,86 ^{A-D}	60,68±18,68 ^{A-D}	0,73±0,02 ^{A-E}
		21	106,08±4,43 ^B	0,85±0,15 ^{ABC}	76,10±1,34 ^{ABC}	64,98±12,61 ^{AB}	0,72±0,01 ^{A-E}
Atmosfer	10	1	80,16±0,42 ^{E-H}	0,79±0,00 ^{ABC}	59,38±0,39 ^{D-I}	47,59±1,61 ^{C-H}	0,74±0,00 ^{A-E}
		7	83,60±0,37 ^{C-G}	0,76±0,12 ^{ABC}	59,48±5,25 ^{D-I}	45,45±11,26 ^{D-I}	0,71±0,07 ^{A-E}
		14	83,73±2,52 ^{C-G}	0,79±0,04 ^{ABC}	61,36±0,25 ^{D-G}	48,22±2,05 ^{C-H}	0,74±0,02 ^{A-E}
		21	124,58±9,60 ^A	0,84±0,18 ^{ABC}	84,38±5,24 ^A	71,13±13,91 ^A	0,68±0,04 ^{DE}
	15	1	71,74±0,32 ^{F-I}	0,87±0,01 ^{ABC}	52,74±0,25 ^{F-K}	45,96±0,41 ^{D-I}	0,73±0,00 ^{A-E}
		7	88,20±2,52 ^{C-F}	0,88±0,11 ^{AB}	61,07±6,73 ^{D-G}	53,62±0,54 ^{B-G}	0,70±0,05 ^{B-E}
		14	98,02±3,39 ^{BCD}	0,79±0,03 ^{ABC}	68,69±6,54 ^{B-E}	54,33±7,15 ^{B-F}	0,70±0,04 ^{B-E}
		21	111,44±8,44 ^{AB}	0,79±0,01 ^{ABC}	81,35±6,17 ^{AB}	64,11±6,05 ^{ABC}	0,73±0,00 ^{A-E}
	20	1	60,21±7,25 ^{I-L}	0,90±0,13 ^{AB}	42,89±6,36 ^{J-N}	38,22±0,08 ^{HIJ}	0,71±0,02 ^{A-E}
		7	53,13±2,52 ^{F-I}	0,90±0,15 ^{AB}	38,22±2,02 ^{LMN}	34,06±3,87 ^{HIJ}	0,72±0,07 ^{A-E}
		14	73,33±1,60 ^{HIJ}	0,85±0,19 ^{ABC}	55,52±1,64 ^{K-N}	34,15±5,67 ^{HIJ}	0,68±0,07 ^{CDE}
		21	99,35±14,10 ^{G-J}	0,82±0,03 ^{ABC}	72,61±7,87 ^{F-L}	43,09±8,21 ^{E-I}	0,76±0,04 ^{A-E}
Vakum	10	1	60,24±0,00 ^{I-L}	0,73±0,00 ^{BC}	44,28±0,70 ^{J-N}	32,55±0,82 ^{HIJ}	0,74±0,01 ^{A-E}
		7	72,59±11,08 ^{F-I}	0,75±0,07 ^{ABC}	50,84±12,27 ^{F-L}	38,77±12,85 ^{F-J}	0,76±0,02 ^{A-D}
		14	65,89±13,07 ^{HIJ}	0,87±0,18 ^{ABC}	47,19±12,74 ^{H-M}	37,96±6,07 ^{G-J}	0,75±0,02 ^{A-E}
		21	68,36±6,10 ^{G-J}	0,90±0,14 ^{AB}	48,21±1,57 ^{G-M}	43,40±5,31 ^{E-I}	0,71±0,09 ^{B-E}
	15	1	48,12±4,32 ^{KL}	0,81±0,07 ^{ABC}	36,81±4,25 ^{MN}	29,79±1,01 ^{IJ}	0,77±0,02 ^{AB}
		7	60,77±4,41 ^{IJKL}	0,79±0,05 ^{ABC}	45,59±8,17 ^{J-N}	36,52±8,51 ^{HIJ}	0,76±0,04 ^{A-D}
		14	81,80±4,41 ^{D-H}	0,89±0,12 ^{AB}	63,18±0,37 ^{C-F}	56,02±7,46 ^{A-E}	0,77±0,04 ^{AB}
		21	89,25±1,83 ^{CDE}	0,66±0,02 ^C	60,25±1,87 ^{DH}	39,49±1,36 ^{F-J}	0,68±0,01 ^E
	20	1	44,71±0,11 ^L	0,81±0,00 ^{ABC}	32,49±0,02 ^N	26,54±0,17 ^J	0,73±0,00 ^{A-E}
		7	53,67±4,72 ^{JKL}	0,93±0,10 ^{AB}	42,36±2,52 ^{J-N}	39,61±6,46 ^A	0,79±0,02 ^A
		14	73,23±1,60 ^{E-I}	0,85±0,19 ^{ABC}	55,52±1,64 ^{E-J}	47,47±11,78 ^{D-H}	0,76±0,04 ^{ABC}
		21	99,35±14,10 ^{BC}	0,82±0,03 ^{ABC}	72,61±7,87 ^{A-D}	59,09±4,11 ^{A-E}	0,72±0,02 ^{A-E}

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0,05$).

Geleneksel ön pişirilmiş (bütün haldeki) sığır köftelerine ait sertlik değerleri dondurarak depolamanın 30.gününde 43,3 N iken 60.gününde sertlik 48,9 N değerine yükselmiştir ($p<0,05$) (Çizelge 4.42). Dondurarak depolama için benzer bir yükseliş atmosfer basıncında 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanındaki ohmik ısıtmalı ön pişirilmiş köfteler ile vakum altında 20 V/cm voltaj gradyanındaki ohmik ısıtmalı ön pişirilmiş köftelerde gözlenmiştir ($p<0,05$). Köfte örneklerine ait çiğnenebilirlik değerleri söz konusu olduğunda ise, sadece vakum altında 20 V/cm voltaj gradyanındaki ohmik ısıtmalı ön pişirilmiş köftelerde dondurarak depolama sırasında depolamanın 30.günündeki 31,3 N olan değer 60 gün depolanan örnekte 37,1 N değerine yükselmiştir ($p<0,05$).

Çizelge 4.42. Bütün haldeki sığır köfte örneklerine ait tekstür profili analizi sonuçları üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Dep. Sür. (gün)	Sertlik (N)	Elastikiyet	Yapışkanlık (N)	Çiğnenebilirlik (N)	Bağlılık
Geleneksel	-	30	43,32±0,77 ^{H*}	0,94±0,07 ^{ABC}	30,94±0,58 ^G	29,06±1,64 ^F	0,72±0,00 ^B
		60	48,92±1,48 ^G	0,87±0,03 ^{BCD}	37,41±0,80 ^{FG}	32,56±1,75 ^{EF}	0,75±0,01 ^{AB}
Atmosfer	10	30	79,65±1,11 ^A	0,96±0,05 ^{AB}	58,94±0,82 ^{AB}	56,31±3,70 ^A	0,74±0,00 ^{AB}
		60	79,64±0,68 ^A	0,90±0,04 ^{A-D}	59,09±0,73 ^A	52,88±1,44 ^{AB}	0,74±0,00 ^{AB}
	15	30	71,09±0,22 ^{CD}	0,98±0,00 ^A	51,89±0,16 ^{A-D}	50,85±0,15 ^B	0,73±0,00 ^{AB}
		60	77,03±0,59 ^{AB}	0,93±0,07 ^{ABC}	56,62±0,11 ^{ABC}	52,64±3,91 ^{AB}	0,74±0,01 ^{AB}
	20	30	67,02±0,31 ^{DE}	0,99±0,00 ^A	48,92±0,23 ^{DE}	48,44±0,22 ^B	0,73±0,00 ^{AB}
		60	72,14±1,44 ^{BC}	0,89±0,14 ^{A-D}	58,56±10,72 ^{AB}	51,36±0,26 ^{AB}	0,81±0,16 ^A
Vakum	10	30	66,01±0,54 ^E	0,84±0,01 ^{CD}	48,85±0,40 ^{DE}	41,04±1,03 ^{CD}	0,74±0,00 ^{AB}
		60	70,18±1,85 ^{CDE}	0,84±0,01 ^{CD}	50,56±3,32 ^{CDE}	42,49±3,51 ^C	0,72±0,03 ^{AB}
	15	30	66,01±1,99 ^E	0,79±0,00 ^D	51,49±1,56 ^{BCD}	40,68±1,23 ^{CD}	0,78±0,00 ^{AB}
		60	65,66±6,39 ^E	0,79±0,01 ^D	48,57±5,75 ^{DE}	38,37±4,54 ^{CD}	0,74±0,02 ^{AB}
	20	30	49,93±1,93 ^G	0,86±0,00 ^{BCD}	36,45±1,41 ^{FG}	31,34±1,21 ^F	0,73±0,00 ^{AB}
		60	58,86±4,35 ^F	0,86±0,01 ^{BCD}	43,10±2,98 ^{EF}	37,07±2,56 ^{DE}	0,73±0,00 ^{AB}

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0,05$).

Farklı ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminin yüzeyi trimlenmiş ($\sim 2\text{mm}$) sığır köftelerine ait TPA sonuçları (sertlik, elastikiyet, yapışkanlık, çiğnenebilirlik ve bağlılık gibi) üzerine soğukta depolamanın ($+4^{\circ}\text{C}$) etkisi Çizelge 4.43'te, dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi ise Çizelge 4.44'te sunulmuştur. Geleneksel ön pişirme işlemi için soğukta depolamanın ilk gününde 42,3 N olan sertlik değeri 21 gün soğukta depolama sonunda 113,8 N değerine yükselmiştir ($p<0,05$). Soğukta depolama sırasında tüm köfte örnekleri için benzer artış gözlenmiştir ($p<0,05$). Ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminin vakum altında gerçekleştirilmesiyle yüzeyi trimlenmiş sığır köftelerin sertlik değerlerinin sayısal olarak azaldığı, 15 V/cm voltaj gradyanı hariç farkın önemsiz olduğu saptanmıştır ($p>0,05$). Voltaj gradyanı arttıkça yüzeyi trimlenmiş sığır köftelerin sertlik değerlerinin

de depolama sırasında azaldığı saptanmıştır (Çizelge 4.43). Genel olarak ön pişirme ve soğutmanın ardından yüzeyi trimlenmiş köftelerin sertlik değerleri vakum altında uygulanan ohmik ısıtımali ön pişirme işleminde atmosfer basıncı altında gerçekleştirilen denemelere göre daha düşük (yani daha yumuşak bir yapı) bulunmuştur. Soğukta depolama süresindeki artış ile yüzeyi trimlenmiş sığır köftelerin sertlik değerlerinde artma eğilimi gözlenmiş ve benzer bulgular köftelerin çiğnenebilirlik değerleri için de görülmüştür.

Çizelge 4.43. Yüzeyi trimlenmiş (~2 mm) sığır köfte örneklerine ait tekstür profili analizi sonuçları üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın (+4°C) etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Dep. Sür. (gün)	Sertlik (N)	Elastikiyet	Yapışkanlık (N)	Çiğnenebilirlik (N)	Bağlılık
Geleneksel	-	1	42,31±13,89 ^{M*}	0,99±0,00 ^A	31,69±12,49 ^N	31,32±12,35 ^{LM}	0,74±0,05 ^{A-F}
		7	61,91±1,63 ^{G-K}	0,89±0,16 ^{A-D}	43,62±1,89 ^{I-M}	38,76±8,64 ^{G-M}	0,71±0,05 ^{EFG}
		14	77,09±5,51 ^{EFG}	0,99±0,00 ^A	59,85±0,92 ^{D-G}	59,13±0,91 ^{BCD}	0,78±0,04 ^{A-D}
		21	113,75±0,00 ^B	0,90±0,00 ^{ABC}	84,69±0,00 ^B	79,37±0,00 ^A	0,75±0,00 ^{A-F}
Atmosfer	10	1	72,36±1,01 ^{E-I}	0,81±0,06 ^{B-H}	53,43±1,84 ^{F-J}	43,18±1,62 ^{E-I}	0,74±0,04 ^{A-F}
		7	83,97±0,11 ^{CDE}	0,72±0,09 ^{E-H}	60,04±0,68 ^{D-G}	42,96±5,93 ^{E-J}	0,72±0,01 ^{C-G}
		14	85,23±1,20 ^{CDE}	0,69±0,03 ^{GH}	59,94±1,99 ^{D-G}	41,39±3,06 ^{F-K}	0,70±0,03 ^{FG}
		21	144,52±0,00 ^A	0,66±0,00 ^H	102,92±0,00 ^A	68,27±0,00 ^B	0,71±0,00 ^{D-G}
	15	1	73,60±0,77 ^{E-H}	0,77±0,00 ^{D-H}	56,41±0,99 ^{E-H}	45,43±3,61 ^{E-K}	0,76±0,05 ^{A-F}
		7	79,90±1,25 ^{DEF}	0,79±0,00 ^{C-H}	53,36±4,99 ^{F-K}	42,19±3,97 ^{E-K}	0,67±0,07 ^G
		14	85,54±15,95 ^{CDE}	0,81±0,09 ^{B-H}	62,19±7,91 ^{C-F}	50,08±0,88 ^{DEF}	0,73±0,04 ^{B-G}
		21	94,66±12,40 ^{CD}	0,78±0,01 ^{D-H}	66,15±5,48 ^{CD}	51,55±3,34 ^{DE}	0,70±0,03 ^{FG}
	20	1	52,13±0,03 ^{KLM}	0,99±0,01 ^A	40,74±0,15 ^{LMN}	40,46±0,28 ^{F-L}	0,78±0,00 ^{AB}
		7	57,67±11,22 ^{H-M}	0,70±0,00 ^{FGH}	43,13±6,63 ^{KLM}	30,00±4,44 ^M	0,75±0,03 ^{A-F}
		14	59,20±8,54 ^{H-L}	0,98±0,01 ^A	45,85±6,19 ^{H-M}	45,09±5,69 ^{E-H}	0,77±0,01 ^{A-D}
		21	70,84±0,00 ^{E-J}	0,87±0,00 ^{A-E}	53,58±0,00 ^{F-I}	46,10±0,00 ^{E-H}	0,75±0,01 ^{A-F}
Vakum	10	1	56,53±0,04 ^{I-M}	0,83±0,00 ^{A-G}	44,63±0,01 ^{I-M}	36,78±0,25 ^{H-M}	0,80±0,01 ^A
		7	50,32±11,62 ^{KLM}	0,98±0,03 ^{AB}	37,99±9,35 ^{LMN}	38,70±7,55 ^{G-M}	0,41±0,02 ^{A-F}
		14	66,24±2,12 ^{F-K}	0,65±0,11 ^H	51,53±4,19 ^{G-K}	33,31±3,03 ^{J-M}	0,76±0,01 ^{A-F}
		21	86,77±15,68 ^{CDE}	0,87±0,16 ^{A-E}	65,43±5,73 ^{CDE}	56,75±5,58 ^{CD}	0,76±0,07 ^{A-F}
	15	1	53,78±0,85 ^{KLM}	0,86±0,00 ^{A-F}	44,61±2,33 ^{H-L}	38,46±2,14 ^{G-L}	0,79±0,00 ^{AB}
		7	55,82±2,22 ^{D-H}	0,86±0,22 ^{A-G}	39,86±0,37 ^{LMN}	34,04±0,93 ^{I-M}	0,74±0,04 ^{C-G}
		14	73,14±3,91 ^{CDE}	0,78±0,06 ^{C-H}	53,83±5,47 ^{F-I}	42,03±0,93 ^{E-K}	0,74±0,03 ^{A-F}
		21	80,14±8,00 ^{CD}	0,77±0,01 ^{D-H}	60,84±4,93 ^{D-G}	46,72±2,81 ^{EFG}	0,76±0,01 ^{A-F}
	20	1	46,86±1,54 ^{LM}	0,93±0,00 ^{A-D}	36,09±0,74 ^{MN}	33,61±0,62 ^{KLM}	0,77±0,00 ^{A-F}
		7	58,39±12,87 ^{H-M}	0,80±0,21 ^{C-H}	43,26±6,59 ^{J-M}	33,90±3,95 ^{I-M}	0,75±0,05 ^{A-F}
		14	66,34±9,81 ^{F-K}	0,77±0,09 ^{D-H}	51,51±6,48 ^{G-K}	39,21±0,36 ^{G-M}	0,78±0,02 ^{ABC}
		21	97,87±13,00 ^{BC}	0,88±0,03 ^{A-E}	72,07±7,86 ^C	63,72±9,12 ^{BC}	0,74±0,02 ^{A-F}

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0,05).

Dondurarak (-18°C) depolanan sığır köfte örnekleri için ise ohmik ısıtımali ön pişirme işleminin vakum altında uygulanması köftelerin sertlik değerlerinde (atmosfer basıncı altındakilere göre) düşüşlere neden olmuştur (Çizelge 4.44). Örneğin, dondurarak depolamanın 30.gününde atmosfer basıncında 10, 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanlarındaki

ohmik ısıtmalı ön pişirilmiş sığır köftelerin sertlik değerleri sırasıyla 75,9, 70,1 ve 70,0 N iken vakum basıncı altında ön pişirilen örneklerdeki sertlik sırasıyla 59,2, 54,7 ve 48,6 N değerlerine düşmüştür ($p<0,05$). Diğer taraftan, sığır köftelerin çiğnenebilirlik değerlerinde dondurarak depolama süresince artışlar görülsede bu artışlar istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$). Köftelerin elastikiyet değerleri üzerine ön pişirme yöntemi ve kullanılan voltaj gradyanının (ön pişirme koşulu) ile depolama süresinin etkisi de önemli bulunmamıştır ($p>0,05$).

Çizelge 4.44. Yüzeyi trimlenmiş (~2 mm) sığır köfte örneklerine ait tekstür profili analizi sonuçları üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Depolama Süresi (gün)	Sertlik (N)	Elastikiyet	Yapışkanlık (N)	Çiğnenebilirlik (N)	Bağlılık
Geleneksel	-	30	61,17±1,40 ^{DE*}	0,87±0,03 ^A	43,26±0,42 ^{CDE}	39,50±0,77 ^{ABC}	0,76±0,03 ^{BC}
		60	70,88±0,57 ^C	0,74±0,03 ^A	58,47±1,04 ^A	43,28±2,42 ^{ABC}	0,83±0,02 ^A
Atmosfer	10	30	75,86±0,63 ^{AB}	0,78±0,18 ^A	54,79±1,77 ^A	42,92±11,41 ^{ABC}	0,73±0,02 ^{CDE}
		60	77,46±4,26 ^{AB}	0,82±0,08 ^A	53,79±1,32 ^{AB}	44,05±3,87 ^{ABC}	0,70±0,02 ^{DE}
		30	70,06±0,13 ^C	0,87±0,11 ^A	47,15±5,56 ^C	41,33±10,17 ^{ABC}	0,67±0,08 ^E
		60	79,24±0,54 ^A	0,80±0,05 ^A	57,04±1,85 ^A	45,94±4,35 ^{AB}	0,72±0,03 ^{CDE}
	20	30	70,04±0,87 ^C	0,85±0,21 ^A	53,89±0,62 ^{AB}	45,89±11,99 ^{AB}	0,77±0,00 ^{ABC}
		60	73,21±1,48 ^{BC}	0,88±0,06 ^A	56,01±1,64 ^A	49,33±4,62 ^A	0,77±0,01 ^{BC}
		30	59,20±0,91 ^{EF}	0,92±0,12 ^A	44,36±0,47 ^{CD}	40,62±5,77 ^{ABC}	0,75±0,00 ^{BCD}
		60	64,57±6,07 ^C	0,88±0,02 ^A	48,13±4,98 ^C	42,16±5,38 ^{ABC}	0,74±0,01 ^{BCD}
Vakum	10	30	54,70±0,73 ^F	0,78±0,11 ^A	40,23±0,96 ^{DE}	31,41±3,69 ^C	0,74±0,01 ^{BCD}
		60	64,46±3,23 ^C	0,82±0,03 ^A	48,68±2,89 ^{BC}	39,87±0,99 ^{ABC}	0,76±0,01 ^{BC}
	15	30	48,56±1,10 ^G	0,94±0,01 ^A	38,17±1,07 ^E	35,91±1,58 ^{BC}	0,79±0,01 ^{AB}
		60	60,06±0,12 ^{DE}	0,81±0,12 ^A	47,14±0,33 ^C	37,93±5,40 ^{ABC}	0,79±0,01 ^{AB}
	20	30	60,06±0,12 ^{DE}	0,81±0,12 ^A	47,14±0,33 ^C	37,93±5,40 ^{ABC}	0,79±0,01 ^{AB}
		60	60,06±0,12 ^{DE}	0,81±0,12 ^A	47,14±0,33 ^C	37,93±5,40 ^{ABC}	0,79±0,01 ^{AB}
		30	60,06±0,12 ^{DE}	0,81±0,12 ^A	47,14±0,33 ^C	37,93±5,40 ^{ABC}	0,79±0,01 ^{AB}
		60	60,06±0,12 ^{DE}	0,81±0,12 ^A	47,14±0,33 ^C	37,93±5,40 ^{ABC}	0,79±0,01 ^{AB}

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0,05$).

Tian vd. (2016) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, pişirilmiş sığır etlerinde en yüksek kesme kuvveti değeri (5,57 kg) geleneksel yöntemle (su banyosunda) pişirilen örnekte bulunmuş ve ohmik ısıtmayla pişirilen etin kesme kuvveti değerlerinin önemli ölçüde daha düşük (kısa süreli ohmik pişirme ve uzun süreli ohmik pişirme için sırasıyla 4,30 ve 4,78 kg) olduğu saptanmıştır. Bu durum, geleneksel pişirmedeki daha yüksek oranda kollajen büzülmesi, miyofibril ve sarkoplazmik proteinlerin denatürasyonu ile ilişkilendirilmiştir. Dai vd. (2014), domuz etinde ohmik ve su banyosu pişirmenin etkilerini araştırmış, ohmik ısıtmayla pişirilmiş etin Warner-Bratzler kesme kuvvetinin geleneksel yöntemle pişirilmiş ürünlerden önemli ölçüde daha düşük olduğunu rapor etmiştir. Özkan vd. (2004), hamburger köftelerine ohmik ısıtmalı pişirme uygulamasının geleneksel pişirmeye (elektrikli ızgara) kıyasla örneklerin tekstürel özelliklerini etkilemediğini bildirmişlerdir. Shirsat vd. (2004c) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada ise ohmik ısıtmayla ve buharda pişirilmiş frankfurter hamurunun TPA sonuçları pişirme işlemlerinin enstrümental sertlik parametrelerinde istatistiksel olarak

anlamalı bir fark yaratmadığı ancak elastikiyet değerinin ohmik ısıtma ile pişirilmiş örneklerde daha düşük bulunduğu rapor edilmiştir. Duyusal analiz sonuçlarının enstrümental tekstür ölçüm sonuçları ile benzer olduğu saptanmıştır. Bunun aksine, Piette vd. (2004) geleneksel pişirilmiş Bologna jambonunun TPA analiz sonuçlarına göre daha yüksek sertlik ve yapışkanlık değerine sahip olduğunu, elastikiyet değerinin ise farklı olmadığını saptamıştır. Bu tez çalışmasında da bütün haldeki sığır köfte örneklerinin ilk günkü TPA analizleri söz konusu olduğunda (Çizelge 4.41), ohmik ısıtmalı ön pişirmede voltaj gradyanı artınca örneklerin sertlik değerleri azalmış ve ohmik ısıtmanın atmosfer basıncı yerine vakum altında gerçekleştirilmesiyle köftelerin sertlik değerlerinde önemli düşüşler bulunmuştur ($p<0,05$). Sığır köftelerin elastikiyet değerleri üzerine ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemin gerçekleştirildiği basınç (ön pişirme yöntemi) ile kullanılan voltaj gradyanının (ön pişirme koşulu) etkileri ise istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$).

4.12. Mikrobiyolojik Özelliklerin Depolama ile Değişimine Ait Bulgular

4.12.1. Tavuk Eti Köfteleri

Farklı ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminin tavuk köftelerin toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) ve küf-maya sayıları ($\log_{10}$ KOB/g) üzerine soğukta depolamanın ($+4^{\circ}\text{C}$) etkisi Çizelge 4.45'te verilmiştir. Çiğ tavuk köfte hamurlarının TMAB ve küf-maya sayıları sırasıyla $4,75\pm 0,04$ ve $3,60\pm 0,03$ $\log$ KOB/g olarak saptanmıştır. Soğukta depolanmış tavuk köftelerin 21 günlük depolama süresi boyunca (Çizelge 4.45), TMAB ile küf-maya sayılarının düzenli bir şekilde artış gösterdiği tespit edilmiştir ($p<0,05$). Soğukta depolamanın ilk gününde geleneksel ön pişirilmiş, atmosfer basıncı altında 10, 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanlarındaki ohmik ısıtmayla ön pişirilmiş tavuk köfte örneklerinde TMAB sayıları sırasıyla 3,5, 3,8, 3,3 ve 3,7 $\log$ KOB/g olurken vakum altında 10, 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanlarında ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemine maruz kalan örneklerde ise sırasıyla 3,2, 3,2 ve 3,5 $\log$ KOB/g düzeyinde bulunmuştur. Soğukta depolama süresince vakum altında ohmik ısıtmaya maruz bırakılan örneklerin TMAB sayısı atmosfer basıncı altındakilere göre genel olarak daha düşük bulunmuş, fark 10 V/cm voltaj gradyanında ön pişirilen köftelerde depolamanın birinci günü hariç önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$). Tavuk köftelerin TMAB sayısında ısıtma işlemleri sonrası çiğ örneğe kıyasla 0,99-1,53 $\log$ KOB/g birim azalma sağlanmıştır. Atmosfer koşullarında gerçekleştirilen ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminde çiğ köfte

hamuruna kıyasla 0,99-1,42 log KOB/g birim azalma saptanırken, vakum altında gerçekleştirilen denemelerde her bir voltaj gradyanı için daha fazla azalma (1,27-1,53 log KOB/g birim) saptanmıştır.

Çizelge 4.45. Tavuk köfte örneklerine ait toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) ve küf-maya sayıları üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın (+4°C) etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Depolama Süresi (gün)	TMAB (log ₁₀ KOB/g)	Küf-Maya (log ₁₀ KOB/g)
Geleneksel	-	1	3,49±0,02 ^{KL*}	2,84±0,04 ^M
		7	3,90±0,03 ^I	3,03±0,04 ^{LM}
		14	5,39±0,20 ^F	3,13±0,00 ^{KL}
		21	5,91±0,02 ^{DE}	3,29±0,12 ^{JK}
Atmosfer	10	1	3,76±0,07 ^{IJ}	3,44±0,02 ^{HIJ}
		7	4,99±0,01 ^G	3,58±0,22 ^{GH}
		14	6,22±0,23 ^{BC}	3,89±0,13 ^{A-D}
		21	7,27±0,04 ^A	3,94±0,08 ^A
	15	1	3,32±0,04 ^{LM}	3,42±0,08 ^{HIJ}
		7	4,79±0,07 ^H	3,56±0,14 ^{GHI}
		14	6,19±0,04 ^{BC}	3,72±0,00 ^{B-G}
		21	7,25±0,08 ^A	3,92±0,10 ^{ABC}
	20	1	3,66±0,09 ^{JK}	3,54±0,08 ^{GHI}
		7	4,85±0,02 ^{GH}	3,67±0,07 ^{EFG}
		14	5,76±0,07 ^{DE}	3,71±0,01 ^{D-G}
		21	6,09±0,02 ^{CD}	3,93±0,09 ^{AB}
Vakum	10	1	3,23±0,12 ^M	3,28±0,07 ^{JK}
		7	4,68±0,02 ^H	3,36±0,05 ^{IJ}
		14	5,55±0,08 ^F	3,73±0,06 ^{A-G}
		21	6,29±0,04 ^B	3,73±0,14 ^{A-G}
	15	1	3,22±0,25 ^M	2,61±0,29 ^N
		7	4,66±0,05 ^H	3,72±0,07 ^{B-G}
		14	5,76±0,07 ^E	3,71±0,08 ^{C-G}
		21	6,20±0,17 ^{BC}	3,80±0,07 ^{A-F}
	20	1	3,48±0,03 ^{KL}	3,25±0,15 ^{JK}
		7	4,72±0,05 ^H	3,61±0,02 ^{FGH}
		14	4,81±0,04 ^{GH}	3,67±0,01 ^{EFG}
		21	5,94±0,10 ^{DE}	3,85±0,01 ^{A-E}

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0,05).

Çalışmamıza benzer olarak, İçier vd. (2014) tarafından köftelerin ohmik ısıtma ile pişirildiği bir çalışmada, farklı voltaj gradyanları (15, 20 ve 25 V/cm) ve bekletme süreleri (0, 15, 30 s) için TMAB sayısında 1,26-2,96 log KOB/g azalma olduğu rapor edilmiştir. Yucel Sengun vd. (2017) tarafından köftelerin mikrobiyolojik kalitesi üzerine ohmik-kızılötesi kombine pişirme işleminin etkilerinin incelendiği bir çalışmada TMAB sayısı kombine işlem sonrası 0,56-3,10 log KOB/g arasında bulunmuştur.

Tian vd. (2020) domuz etinden elde edilen köfte hamurunun ohmik ısıtmayla pişirildiği, analiz sonuçlarının geleneksel (su banyosunda) pişirme ile karşılaştırıldığı çalışmalarında 28 günlük depolama sürecinde TMAB sayılarında her iki yöntem için önemli bir fark saptamamıştır. Depolamanın 28. gününde hem ohmik ısıtmayla hem su banyosunda pişirilmiş numunelerde TMAB sayıları 7 log KOB/g'yi aşmış, ancak ohmik ısıtmayla ve su banyosunda pişirilmiş numuneler arasında önemli bir fark gözlenmemiştir. Çalışmamızda ise vakum altında gerçekleştirilen ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerinde elde edilen mikrobiyolojik sayımlar atmosfer koşullarına ve belirtilen literatür çalışmalarına kıyasla genel olarak daha düşük bulunmuştur.

Farklı ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminin tavuk köftelerin TMAB ve küf-maya sayıları üzerine dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi Çizelge 4.46'da verilmiştir. Dondurarak depolama süresi ile ön pişirme yöntemi ve koşullarının TMAB sayımı üzerine etkisi (atmosfer basıncı altında 15 V/cm voltaj gradyanı ile vakum altında 10 V/cm voltaj gradyanı hariç) istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). Buna karşın, depolamanın 30 ve 60.günleri arasındaki farklılıkların 1 logaritmik birimin altında olması nedeniyle, endüstriyel uygulamalar söz konusu olduğunda mikrobiyal artışlar önemsiz olarak değerlendirilmiştir.

Şengün vd. (2014) tarafından sığır köftelerle gerçekleştirilen bir çalışmada ohmik ısıtmayla pişirilmiş köftelerde TMAB sayısı 3,30 log KOB/g değerine düşürülmüş, küf-maya sayısı da önemli ölçüde azaltılmıştır. Soğukta 7 gün muhafaza edilen vakum paketli tavuk, kuzu ve sığır etlerinin mikrobiyolojik özelliklerinin incelendiği çalışmada (Çiçek vd., 2014), soğukta 7 gün boyunca muhafaza edilen ve diğer etlere göre daha düşük pH seviyelerine sahip vakum paketli sığır etlerinin TMAB sayısının diğer et gruplarına (tavuk ve kuzu) kıyasla daha düşük olduğu saptanmıştır. Depolama süresindeki artış ile örneklerin TMAB sayısı önemli ölçüde artmış, tavuk ve sığır eti örneklerinin farklı depolama günlerindeki TMAB sayısı sırasıyla 7,32-9,77 ile 6,99-8,23 log KOB/g arasında saptanmıştır. Soğukta depolama sırasında et ürünlerinde, glikozun tükenmesinin ve depolama sürecinde proteinlerin parçalanmasının ardından bakterilerin amino asitleri kullanarak amonyak ve diğer bazı mikrobiyal metabolitleri oluşturması sonucu pH değerlerinde artış yarattığı bildirilmiştir (Shah vd., 2015).

Çizelge 4.46. Tavuk köfte örneklerine ait toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) ve küf-maya sayıları üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Depolama Süresi (gün)	TMAB (log ₁₀ KOB/g)	Küf-Maya (log ₁₀ KOB/g)
Geleneksel	-	30	3,42±0,06 ^{EFG*}	2,88±0,12 ^C
		60	3,59±0,04 ^{CDE}	3,19±0,08 ^B
Atmosfer	10	30	3,76±0,03 ^{AB}	3,01±0,22 ^{BC}
		60	3,80±0,00 ^A	3,49±0,00 ^A
	15	30	3,57±0,01 ^{FG}	2,95±0,13 ^C
		60	3,65±0,15 ^{BCD}	3,45±0,06 ^A
	20	30	3,65±0,06 ^{BCD}	2,92±0,02 ^C
		60	3,72±0,03 ^{ABC}	3,56±0,04 ^A
Vakum	10	30	3,36±0,03 ^G	2,95±0,07 ^C
		60	3,53±0,02 ^{DEF}	3,42±0,11 ^A
	15	30	3,40±0,08 ^{FG}	3,92±0,02 ^C
		60	3,49±0,11 ^{EFG}	3,17±0,10 ^B
	20	30	3,38±0,01 ^G	2,89±0,01 ^C
		60	3,49±0,06 ^{EFG}	3,41±0,08 ^A

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0,05).

4.12.2. Sığır Eti Köfteleri

Farklı ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminin sığır köfte örneklerine ait TMAB ve küf-maya sayıları üzerine soğukta depolamanın (+4°C) etkisi Çizelge 4.47’de verilmiştir. Çiğ sığır köfte örneklerinin TMAB ve küf-maya sayıları sırasıyla 4,41±0,04 ve 3,24±0,08 log KOB/g olarak saptanmıştır.

Soğukta depolanmış sığır köftelerin 21 günlük depolama süresi sonunda (Çizelge 4.47), TMAB ile küf-maya sayılarının düzenli bir şekilde artış gösterdiği tespit edilmiştir (p<0,05). Soğukta depolamanın ilk gününde geleneksel ön pişirilmiş, atmosfer basıncı altında 10, 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanlarındaki ohmik ısıtmayla ön pişirilmiş sığır köfte örneklerinde TMAB sayıları sırasıyla 3,6, 3,8, 3,5 ve 3,5 log KOB/g olurken vakum altında 10, 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanlarında ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemine maruz kalan örneklerde ise sırasıyla 3,5, 3,3 ve 3,2 log KOB/g düzeyinde bulunmuştur.

Tavuk köfte örneklerine benzer şekilde, soğukta depolama süresince vakum altında ohmik ısıtmaya maruz bırakılan sığır köftelerin TMAB sayısı atmosfer basıncı altındakilere göre genel olarak daha düşük bulunmuştur. Sığır köftelerin soğukta depolanması süresince küf-maya sayımları arasındaki fark bir logaritmik birimden daha düşük olmuştur.

Çizelge 4.47. Sığır köfte örneklerine ait toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) ve küf-maya sayıları üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile soğukta depolamanın (+4°C) etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Depolama Süresi (gün)	TMAB (log ₁₀ KOB/g)	Küf-Maya (log ₁₀ KOB/g)
Geleneksel		-	1	3,57±0,07 ^{G-J*}	2,95±0,00 ^{G-K}
			7	4,43±0,75 ^{CDE}	3,11±0,02 ^{C-H}
			14	6,04±0,02 ^B	2,99±0,12 ^{F-J}
			21	6,12±0,04 ^B	2,95±0,07 ^{G-K}
Atmosfer	10		1	3,84±0,04 ^{FGH}	3,33±0,03 ^{B-E}
			7	4,72±0,10 ^C	3,74±0,03 ^A
			14	7,05±0,03 ^A	3,40±0,15 ^{BC}
			21	7,20±0,03 ^A	3,29±0,03 ^{B-E}
	15		1	3,45±0,06 ^{HIJ}	3,05±,17 ^{E-I}
			7	4,23±0,71 ^{DEF}	3,16±0,40 ^{B-G}
			14	5,81±0,05 ^B	3,35±0,07 ^{BCD}
			21	6,92±0,04 ^A	3,41±0,01 ^B
	20		1	3,45±0,04 ^{HIJ}	3,10±0,13 ^{D-H}
			7	4,61±0,05 ^{CD}	2,57±0,04 ^{LM}
			14	5,93±0,15 ^B	3,27±0,01 ^{B-F}
			21	5,92±0,13 ^B	3,43±0,06 ^B
Vakum	10		1	3,47±0,05 ^{HIJ}	3,23±0,05 ^{B-G}
			7	3,75±0,08 ^{GHI}	2,84±0,20 ^{H-L}
			14	5,83±0,06 ^B	3,20±0,14 ^{B-G}
			21	6,06±0,03 ^B	3,21±0,03 ^{B-G}
	15		1	3,30±0,14 ^{IJ}	2,66±0,38 ^{KLM}
			7	4,03±0,44 ^{EFG}	2,53±0,18 ^M
			14	5,72±0,05 ^B	2,80±0,14 ^{I-M}
			21	5,76±0,04 ^B	2,95±0,07 ^{G-K}
	20		1	3,15±0,13 ^J	2,62±0,11 ^{LM}
			7	3,54±0,16 ^{HIJ}	2,72±0,09 ^{J-M}
			14	5,75±0,04 ^B	2,62±0,11 ^{LM}
			21	5,71±0,08 ^B	2,83±0,02 ^{H-L}

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0,05).

Farklı ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminin sığır köftelerine ait TMAB ve küf-maya sayıları üzerine dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi Çizelge 4.48’de verilmiştir. Ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerinde voltaj gradyanındaki artış ile TMAB sayılarının genel olarak azaldığı ancak bu azalmanın bir logaritmik birimden küçük olduğu gözlenmiştir. Vakum altında gerçekleştirilen ohmik ısıtma ile ön pişirme işlemlerinde atmosfer koşullarındaki işlemlere kıyasla TMAB sayısında önemli bir azalma gözlenirse de bu azalış bir logaritmik birimden az olmuştur. Sığır köftelerin TMAB sayısında ısıt işlemler sonrası çiğ örneğe kıyasla 0,57-1,26 log KOB/g birim azalma sağlanmıştır. Atmosfer koşullarında gerçekleştirilen ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminde çiğ sığır köfte hamuruna kıyasla 0,57-0,96 log KOB/g birim azalma saptanırken, vakum altında

gerçekleştirilen denemelerde bu azalma 0,94-1,26 log KOB/g birim olarak saptanmıştır. Vakum altında 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanlarında gerçekleştirilen ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerinde sırasıyla 1,11 ve 1,26 log KOB/g birim olarak daha fazla azalma gözlenmiştir. Ohmik ısıtmalı ön pişirme, üründe homojen sıcaklık dağılımı sağlayarak mikrobiyal çoğalmayı etkili bir şekilde engellemekte ve ürünün içinde daha hızlı ve ani bir pişirme sapladığından işlem sürelerini kısaltmaktadır (Yildiz-Turp vd., 2013). Bunun yanı sıra, ohmik ısıtma tekniğinin elektroporasyon mekanizması yaratması neticesinde hücre zarında gözeneklerin oluşumuna yol açtığı, hücre içinde yer alan bileşenlerin gözenekler aracılığıyla sızmasına bağlı olarak hücre ölümüne neden olabileceği bilinmektedir. Ohmik ısıtma tekniğinde ısıl işleme ek olarak gerçekleşen elektroporasyon sayesinde işlemin letal etkileri artırılabilir (Anderson, 2008; Yıldiz-Turp vd., 2013). Özellikle ön pişirilmiş köftelerin soğukta saklamasına ait bulgular incelendiğinde, ohmik ısıtmanın vakum altında uygulanmasının kısmen daha düşük mikrobiyal gelişim ile mikroorganizmalar üzerine letal etkiyi artırmış olabileceği düşünülmektedir.

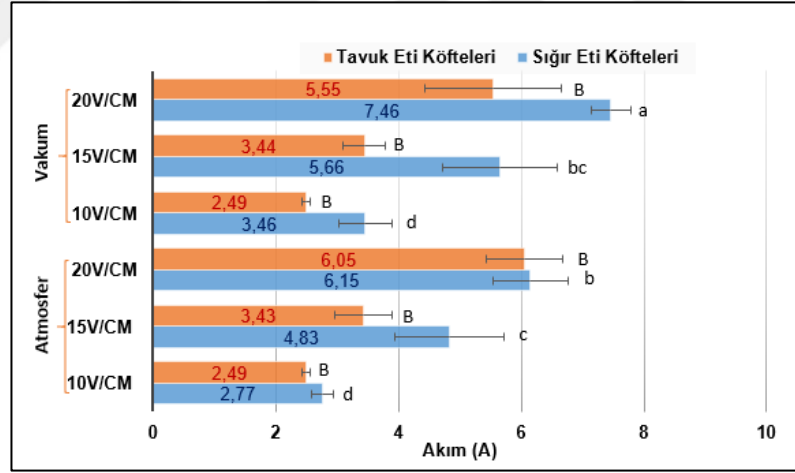
Çizelge 4.48. Sığır köfte örneklerine ait toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) ve küf-maya sayıları üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşulları ile dondurarak depolamanın (-18°C) etkisi

Pişirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Depolama Süresi (gün)	TMAB (log ₁₀ KOB/g)	Küf-Maya (log ₁₀ KOB/g)
Geleneksel	-	30	3,52±0,02 ^{BCD*}	3,13±0,02 ^{HI}
		60	3,56±0,01 ^B	3,31±0,04 ^{C-F}
Atmosfer	10	30	3,80±0,00 ^A	3,26±0,06 ^{EF}
		60	3,79±0,03 ^A	3,32±0,03 ^{C-F}
	15	30	3,47±0,01 ^{BCD}	3,28±0,11 ^{D-G}
		60	3,52±0,01 ^{BC}	3,44±0,03 ^{AB}
	20	30	3,45±0,01 ^{EF}	3,37±0,03 ^{BCD}
		60	3,47±0,02 ^{DE}	3,35±0,00 ^{B-E}
Vakum	10	30	3,48±0,01 ^{CDE}	3,37±0,06 ^{BCD}
		60	3,55±0,03 ^B	3,49±0,03 ^A
	15	30	3,36±0,02 ^G	3,21±0,01 ^{GH}
		60	3,41±0,04 ^{FG}	3,41±0,01 ^{ABC}
	20	30	3,28±0,05 ^H	3,09±0,06 ^I
		60	3,18±0,14 ^G	3,25±0,01 ^{FG}

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0,05).

4.13. Ohmik Isıtmalı Ön Pişirme İşlemlerinin Ortalama Akım ve Efektif Elektriksel İletkenlik Değerlerine Etkisi

Ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminin atmosfer veya vakum basıncı altında gerçekleştirilmesi sırasında tavuk ve sığır köftelerinin ortalama akım değerlerinin değişimi Şekil 4.19’da sunulmuştur. Efektif elektriksel iletkenlik değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi ise tavuk ve sığır köfteler için sırasıyla Çizelge 4.49 ve 4.50’de sunulmuştur. Voltaj gradyanındaki artış ile birlikte, her iki et türünde de ortalama akım değerleri artış göstermiş, ortalama akım değerleri 2,49-7,46 A aralığında saptanmıştır (Şekil 4.19). Ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemi başlangıcındaki ve işlem sonundaki efektif elektriksel iletkenlik değişimleri tavuk ve sığır köfteler için sırasıyla Çizelge 4.49 ve 4.50’de sunulmuştur. Farklı voltaj gradyanlarında ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemi esnasında tavuk köftelerinin elektriksel iletkenlik değerleri ön pişirme işleminin başlangıcı için 0,65-0,99 S/m arasında, işlem sonunda ise 2,81-4,53 S/m arasında saptanmıştır (Çizelge 4.49). Aynı değerler sığır köfteler için sırasıyla 0,62-0,92 S/m ve 3,93-4,87 S/m arasında saptanmıştır (Çizelge 4.50).



Şekil 4.19. Tavuk ve sığır köfte örneklerinin atmosfer ve vakum basıncı altında ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemi sırasında köftelerin ortalama akım (A) değerlerindeki değişim (Sütunlar üzerindeki farklı harfler (^{A-B}: Tavuk köfte, ^{a-d}: Sığır köfte) ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p < 0,05$))

Vakum altında ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminde, atmosfer basıncı altındakine kıyasla tavuk köftelerin ön pişirme işlemi sonundaki efektif elektriksel iletkenlik değerlerinde kısmi bir artış gözlenmiş, fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p > 0,05$). Tavuk köftelerde pişirme sonundaki efektif elektriksel iletkenlik değeri 20

V/cm voltaj gradyanında 10 V/cm voltaj gradyanına kıyasla yüksek bulunmuş, farkın istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır ($p<0,05$). Sığır köftelerin ohmik ısıtmalı ön pişirilmesinde vakum altında gerçekleştirilen denemelerde atmosfer koşullarına kıyasla işlem sonundaki efektif elektriksel iletkenlik değerlerinde kısmi bir artış olsa da istatistiksel olarak önemli bir farklılık saptanmıştır ($p>0,05$).

Çizelge 4.49. Tavuk köftelerin efektif elektriksel iletkenlik değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Başlangıç Efektif Elektriksel İletkenlik Değeri (S/m)	Piştirme Sonundaki Efektif Elektriksel İletkenlik Değeri (S/m)
Atmosfer	10	0,65±0,08 ^{B*}	3,09±0,49 ^B
	15	0,78±0,20 ^{AB}	3,65±0,90 ^{AB}
	20	0,70±0,05 ^B	4,51±0,18 ^A
Vakum	10	0,71±0,14 ^B	2,81±0,07 ^B
	15	0,76±0,01 ^{AB}	4,35±0,39 ^A
	20	0,99±0,17 ^A	4,53±0,63 ^A

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0,05$).

Çizelge 4.50. Sığır köftelerin efektif elektriksel iletkenlik değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Başlangıç Efektif Elektriksel İletkenlik Değeri (S/m)	Piştirme Sonundaki Efektif Elektriksel İletkenlik Değeri (S/m)
Atmosfer	10	0,62±0,01 ^{B*}	3,93±0,23 ^A
	15	0,72±0,07 ^B	4,36±0,52 ^A
	20	0,71±0,09 ^B	4,55±0,36 ^A
Vakum	10	0,69±0,09 ^B	4,53±0,55 ^A
	15	0,82±0,19 ^{AB}	4,61±0,84 ^A
	20	0,92±0,07 ^A	4,87±0,21 ^A

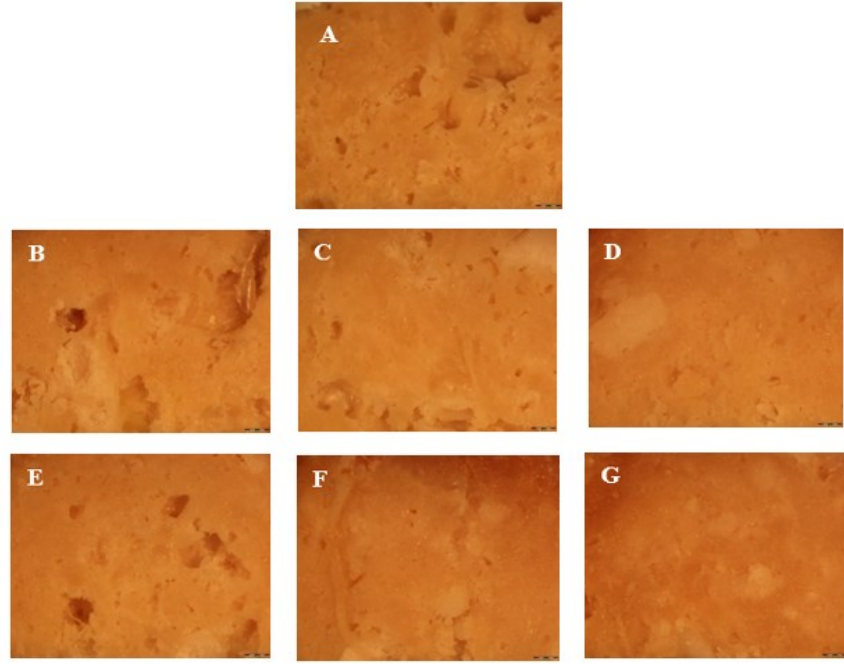
* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0,05$).

Ohmik ısıtma ile ön pişirme denemelerinde köftelerin elektriksel iletkenlik değerlerinin sıcaklık artışı ile genel olarak arttığı gözlenmiştir. Parrott (1992), sabit frekansta elektriksel iletkenlik değerlerinin sıcaklıkla arttığını ve bu artışın esas olarak dokulardaki (hücre duvarı yıkımı, yumuşama ve faz viskozitesinde azalma gibi) yapısal değişiklikler sonucu artan iyonik hareketlilikten kaynaklanabileceğini belirtmiştir. Kübik şekle (3x3x3 cm) sahip %5,03-18,03 yağ içeren sığır eti örneklerinin (20-50 kHz frekans, 50 V değerinde) ohmik ısıtma yöntemiyle 5°C'den 65°C'ye ısıtıldığı bir çalışmada (Llave vd., 2018), ısıtma süresinin yaklaşık 100-140 s arasında değiştiği saptanmıştır. Elektriksel iletkenlik değeri ise bu sıcaklık aralığı için 0,2-1,2 S/m aralığında saptanmış olup sıcaklık

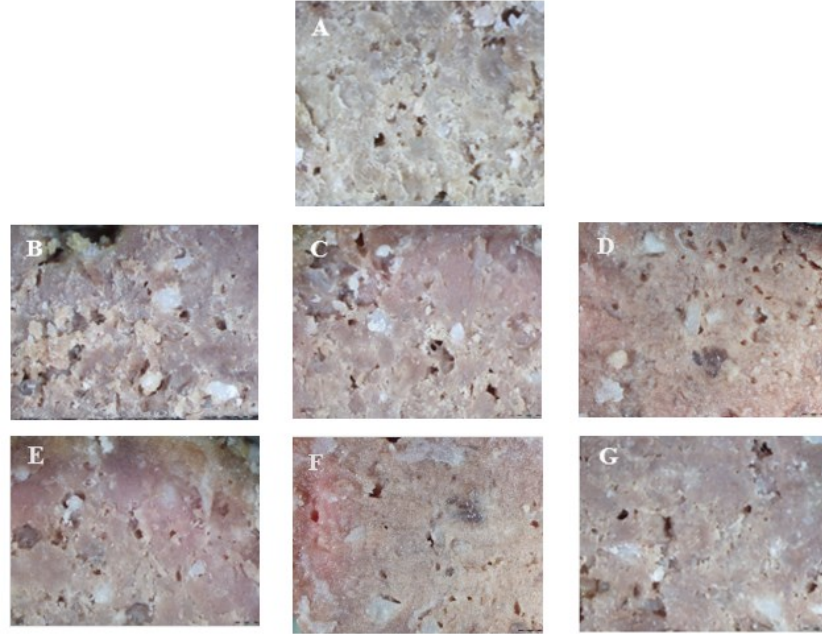
artışı ile değerlerin lineer artış gösterdiği belirtilmiştir. Sarang (2008) 19–25 V/cm voltaj gradyanında ohmik ısıtma işlemi esnasında (60Hz, 25-140°C) silindirik tavuk numunelerinin (0,79x0,78 cm, uzunluk x çap, %2,63 yağ içeriği) elektrik iletkenliklerinin ölçümünü gerçekleştirmiş, iletkenlik değerleri 0,67-2,21 S/m arasında değişim göstermiş ve sıcaklık ile birlikte artmıştır. Sığır eti örneklerinin elektriksel iletkenlik değerleri ise 0,37-1,72 S/m aralığında saptanmıştır. Engchuan ve Jittanit (2013) köfte örneklerinin elektrik iletkenliklerinin 0,68-3,17 S/m aralığında olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, Shirsat vd. (2004d) 15-80°C sıcaklık aralığında et emülsiyonlarının ohmik ısıtma için yeterli olduğu kabul edilen 1,0-5,5 S/m arasında elektrik iletkenliklerine sahip olduğunu rapor etmiştir.

4.14. Mikroskop Görüntüleri

Tavuk ve sığır köftelere ait mikroskop görüntüleri sırasıyla Şekil 4.20 ve 4.21’de sunulmuştur. Stereo zoom mikroskopuyla gerçekleştirilen incelemeler neticesinde ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemiyle pişen köftelerde yağ moleküllerinin hayvansal dokudaki gözeneklerden kaybının vakum altında daha az gerçekleştiği gözlenmiştir. Vakum altında gerçekleştirilen ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerinde atmosfer basıncı altındakilere kıyasla çap değişimi değerlerinin azalması da bu durumu destekler niteliktedir. Vakum uygulamasıyla birlikte ortamdan ve hayvansal dokuların içerisinden hava molekülleri uzaklaştırılmakta ve köfte örnekleri daha sıkı bir yapıya kavuşmaktadır. Vakum altında ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminde köftedeki gözenekli (porlu) yapının azaltılabileceği ve böylece atmosfer altındaki işleme kıyasla köftenin elektrik akımını daha iyi iletebileceği; elektriksel iletkenlik değerindeki kısmi artışla beraber homojen ve hızlı bir ısıtma sağlanabildiği gözlenmiştir. Üründe azalan gözenek yapısı, görece hızlı bir ısıtma avantajı sağlayabilecek niteliktedir. Enstrümantal sertlik analiz bulguları ile de desteklendiği üzere, yumuşak yapının korunmasının ve sığır köftede kısmen artan iletkenlik değerlerinin de bundan kaynaklandığı tahmin edilmektedir.



Şekil 4.20. Tavuk köftelerin stereo zoom mikroskobuyla çekilmiş görüntüleri (x8 kat)
(A: Geleneksel ön pişirme, B, C ve D: Atmosfer basıncı altında sırasıyla 10, 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanlarında ohmik ısıtma ile ön pişirme, E, F ve G: Vakum basıncı altında sırasıyla 10, 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanlarında ohmik ısıtma ile ön pişirme)



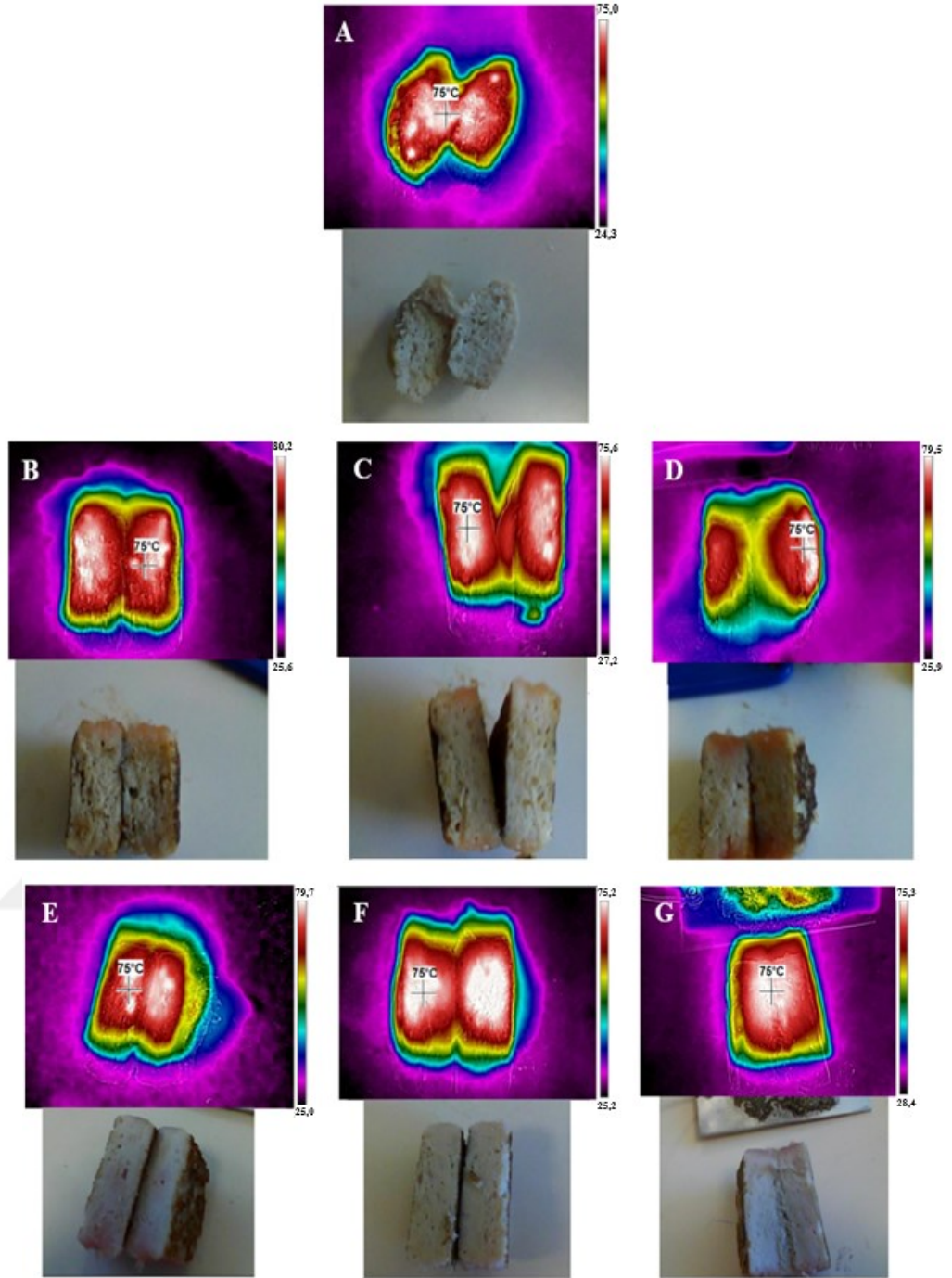
Şekil 4.21. Sığır köftelerin stereo zoom mikroskobuyla çekilmiş görüntüleri (x8 kat) (A: Geleneksel ön pişirme, B, C ve D: Atmosfer basıncı altında sırasıyla 10, 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanlarında ohmik ısıtma ile ön pişirme, E, F ve G: Vakum basıncı altında sırasıyla 10, 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanlarında ohmik ısıtma ile ön pişirme)

Shirsat vd. (2004c) ohmik ısıtma yöntemiyle pişirilen frankfurter hamurunun dokusal özelliğinin geleneksel pişirmeye (buharla pişirme) kıyasla pişmemiş numunelere daha benzer olduğunu, pişirme esnasında dokunun daha az büzüldüğünü belirtmiştir. Miyofibrillerin büzülmesi, hücrelerden suyun dışarı atılması ile ilişkilidir. Buharla pişirilen örneklerin daha fazla küçülme eğiliminde olmasının bu örneklerde miyofibrillerden suyun göç etmesine imkân veren daha uzun pişirme süresi sonucu olabileceği belirtilmiştir. Sous-vide pişirme işleminin kuzu butlarına uygulandığı bir çalışmada (Roldán vd., 2013), tekstür analizindeki çoğu değişken, pişirme sıcaklığı ve süresi ile belirgin şekilde değişim göstermiştir. Çalışmada, SEM görüntülerine göre 60°C’de pişirilen örneklerdeki dokusal boşlukların daha uzun pişirme süreleri sebebiyle genellikle daha geniş olma eğiliminde olduğu, 80°C’de yapının daha sıkı olduğu bildirilmiştir.

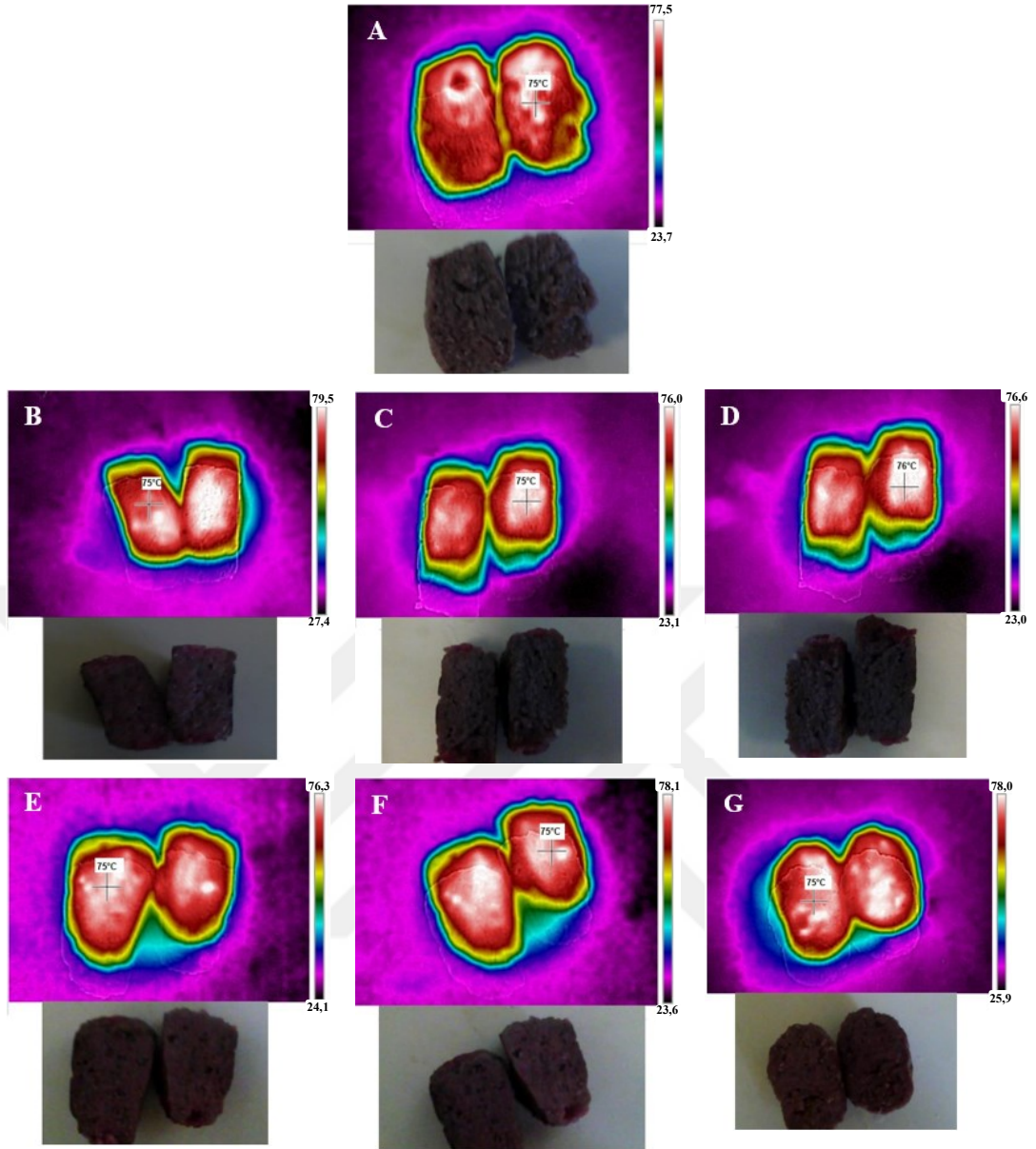
4.15. Termal Kamera Görüntüleri

Köftelerdeki sıcaklık dağılımının belirlenmesi amacıyla köftelerin ön pişirilmesinden hemen sonra termal kamera ile elde edilen kesit yüzeyi görüntüleri ile kesit yüzey sıcaklık dağılımları tavuk köfte için Şekil 4.22’de, sığır köfte için ise Şekil 4.23’te gösterilmiştir. Şekil 4.22 ve Şekil 4.23’te görüleceği üzere, ohmik ısıtmalı ön pişirmede ürünün elektrot plakalarla temas etmeyen kenar yüzeyleri dışında sıcaklığın ürünün tamamında oldukça homojen olduğu saptanmıştır.

Sıcaklık homojenliği, literatürde et ürünü içindeki geometrik merkez sıcaklığının yüzey sıcaklığına oranı olarak ifade edilmektedir (Kor ve İçier, 2016). Farklı ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminin kesit yüzeyine ait sıcaklık homojenliği ve oransal ortalama sıcaklık homojenliği verileri tavuk ve sığır köfteler için sırasıyla Çizelge 4.51 ve 4.52’de sunulmuştur.



Şekil 4.22. Geleneksel ve ohmik ısıtmalı ön pişirme sonrası tavuk köftelerin kesit yüzeyine ait termal kamera görüntüleri (A: Geleneksel ön pişirme, B, C ve D: Atmosfer basıncı altında sırasıyla 10, 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanlarında ohmik ısıtma ile ön pişirme, E, F ve G: Vakum basıncı altında sırasıyla 10, 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanlarında ohmik ısıtma ile ön pişirme)



Şekil 4.23. Geleneksel ve ohmik ısıtmalı ön pişirme sonrası sığır köftelerin kesit yüzeyine ait termal kamera görüntüleri (A: Geleneksel ön pişirme, B, C ve D: Atmosfer basıncı altında sırasıyla 10, 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanlarında ohmik ısıtma ile ön pişirme, E, F ve G: Vakum basıncı altında sırasıyla 10, 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanlarında ohmik ısıtma ile ön pişirme)

Tez çalışması kapsamında tavuk köftelerin ön pişirme işlemlerine ait ortalama merkez ve yüzey sıcaklıkları sırasıyla $75,2\pm2,28^{\circ}\text{C}$ ve $58,72\pm1,93^{\circ}\text{C}$ aralıklarında, sığır köftelere ait ortalama merkez ve yüzey sıcaklıkları ise sırasıyla $76,15\pm1,72^{\circ}\text{C}$ ve $58,44\pm1,89^{\circ}\text{C}$ aralıklarında saptanmıştır. Çizelge 4.51 incelendiğinde, fark istatistiksel olarak önemsiz olmakla birlikte tavuk köftelerde geleneksel ön pişirme işlemine ait

sıcaklık homojenliği değeri (1,29), ohmik ısıtma ile ön pişirme işlemlerine kıyasla (1,27-1,28) sayısal olarak biraz yüksek bulunmuştur ($p>0,05$).

Çizelge 4.51. Tavuk köftelerin kesit yüzeylerine ait sıcaklık ve oransal ortalama sıcaklık homojenliği değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Ortalama Sıcaklık (°C)	Sıcaklık Homojenliği	Oransal Ortalama Sıcaklık Homojenliği
Geleneksel	-	68,67±0,42 ^{AB*}	1,29±0,06 ^A	4,20±0,65 ^A
Atmosfer	10	71,83±1,45 ^A	1,28±0,04 ^A	4,17±0,53 ^A
	15	70,80±0,53 ^{AB}	1,27±0,02 ^A	4,38±0,21 ^A
	20	67,63±2,64 ^B	1,27±0,04 ^A	4,27±0,68 ^A
Vakum	10	70,93±2,76 ^A	1,28±0,05 ^A	4,36±0,78 ^A
	15	70,63±0,78 ^{AB}	1,27±0,02 ^A	4,42±0,32 ^A
	20	70,20±1,22 ^{AB}	1,28±0,02 ^A	4,29±0,31 ^A

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0,05$).

Sığır köftelerde ise geleneksel ön pişirme işleminden elde edilen değer (1,27) atmosfer basıncındaki ohmik ısıtma ile ön pişirme sonuçlarından (1,31-1,33) sayısal anlamda daha düşük bulunmuş, vakum altında uygulanan işlemin sıcaklık homojenliği (1,30-1,31) atmosfer koşullarına kıyasla kısmen azalmıştır (Çizelge 4.52). Oransal ortalama sıcaklık homojenliği ölçümlerinde ise tavuk köftelerde en homojen sıcaklık dağılımı her iki ohmik ön pişirme yönteminde 15 V/cm voltaj gradyanı için saptanmıştır. Vakum altında gerçekleştirilen ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerinde oransal ortalama sıcaklık homojenliği değerleri tavuk köftelerde atmosfer koşullarına göre yüksek bulunmuş ancak fark istatistiksel olarak önemsiz olmuştur ($p>0,05$). Ohmik ısıtmalı pişirme sırasında hızlı hacimsel ısınma olduğu için, anlık ve daha homojen sıcaklık artışı sağlanabildiği düşünülmektedir (Bozkurt ve İcier, 2010). Kor ve İcier (2016) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, silindirik köftelerin kızılötesi pişirme sırasında farklı ısı akımları, mesafeler ve sürelerin sıcaklık dağılımına etkileri araştırılmış ve pişirme işleminin sonunda örneklerin sıcaklık homojenliği 1,31±0,35 olarak saptanmıştır. Araştırmacılar örneklerin ortalama merkez sıcaklığını 77,57±9,86°C, ortalama yüzey sıcaklığını ise 60,72±11,07°C olarak saptamıştır. Bu sonuçlar çalışmamızda saptanan bulgular ile uyumludur. Yine, Bozkurt ve İcier (2010) ohmik pişirmede sıcaklık homojenliği değerlerini 0,915-0,938 arasında, geleneksel pişirmede ise 0,560-0,604 arasında saptamıştır. Çalışmamızda, sığır köfteler için geleneksel ön pişirme işleminde sıcaklık homojenliği değeri ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerine kıyasla daha yüksek olmuş, vakum altında gerçekleştirilen ohmik ısıtma ile ön pişirme denemelerinde oransal

ortalama sıcaklık homojenliği değeri biraz artmış ancak bu artışlar istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$).

Çizelge 4.52. Sığır köftelerin kesit yüzeylerine ait sıcaklık ve oransal ortalama sıcaklık homojenliği değerleri üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Ortalama Sıcaklık (°C)	Sıcaklık Homojenliği	Oransal Ortalama Sıcaklık Homojenliği
Geleneksel	-	71,60±1,45 ^{ABC*}	1,27±0,01 ^B	4,34±0,21 ^A
Atmosfer	10	70,83±0,25 ^{BC}	1,31±0,02 ^{AB}	4,04±0,22 ^A
	15	69,63±1,84 ^C	1,31±0,03 ^{AB}	4,01±0,37 ^A
	20	71,43±1,91 ^{ABC}	1,33±0,02 ^A	3,83±0,16 ^A
Vakum	10	70,97±1,12 ^{BC}	1,31±0,05 ^{AB}	4,03±4,48 ^A
	15	72,40±1,50 ^{AB}	1,30±0,02 ^{AB}	4,07±0,22 ^A
	20	73,83±0,45 ^A	1,30±0,01 ^{AB}	4,09±0,05 ^A

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0,05$).

4.16. Duyusal Sertlik ve Sululuk Analiz Bulguları

Geleneksel yöntemle ve farklı koşullarda ohmik ısıtmalı yöntemle ön pişirilen ve ardından vakum soğutulmuş köftelere ait depolamanın ilk gününde gerçekleştirilen duyusal analiz bulguları tavuk köfteler için Çizelge 4.53'te ve sığır köfteler için Çizelge 4.54'te sunulmuştur. Köftelerin duyusal sertlik ve sululuk skorları incelendiğinde, her iki köfte türü için de duyusal sertlik değerlerinde panelistler tarafından verilen skorlar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılığın olmadığı saptanmıştır ($p>0,05$). Bütün veya yüzeyi trimlenmiş köftelere ait enstrümental tekstür analiz bulguları hem tavuk hem de sığır köfteler için ohmik ısıtmalı ön pişirme türü ile koşulları köftelerin sertlik değerlerinde değişime yol açmış olmakla birlikte duyusal sertlik bulguları, enstrümental sertlik değişimlerinin panelistler tarafından hissedilmediğini ortaya çıkarmıştır. Tavuk köftelerin sululuk değerleri her bir pişirme türü içerisinde kullanılan voltaj gradyanı tarafından etkilenmemiş ($p>0,05$) iken atmosfer basıncında 15 V/cm voltaj gradyanında ohmik ısıtmalı ön pişirilmiş tavuk köftelerin sululuk değeri (6,58) vakum altında 10 ve 15 V/cm voltaj gradyanlarında ohmik ısıtmalı ön pişirilmiş tavuk köftelerin sululuk değerlerinden (sırasıyla 7,36 ve 7,26) daha düşük bulunmuştur ($p<0,05$). Sığır köfteler ile gerçekleştirilen denemelerde vakum altında ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemiyle pişirilen örneklerin sululuk değerlerinin atmosfer basıncında gerçekleştirilen ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerine kıyasla yüksek olduğu ve farkın önemli olduğu saptanmıştır ($p<0,05$). Ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemi uygulanmış sığır köftelerin sululuk değerleri (7,41-7,89 arasında) geleneksel pişirmeye (6,20) kıyasla yüksek bulunmuş olup vakum altındaki

ohmik ısıtımali ön pişirme işlemleri ile arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$).

Çizelge 4.53. Tavuk köftelerin duyusal sertlik ve sululuk değerleri ($n=8$) üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi

Pişirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Duyusal Sertlik	Duyusal Sululuk
Geleneksel pişirme	-	7,29±0,19 ^{A*}	6,89±0,54 ^{AB}
Atmosfer	10	6,84±0,64 ^A	6,71±0,72 ^{AB}
	15	7,06±0,64 ^A	6,58±0,41 ^B
	20	6,99±0,48 ^A	6,71±0,67 ^{AB}
Vakum	10	7,01±0,62 ^A	7,36±0,42 ^A
	15	6,76±0,60 ^A	7,26±0,67 ^A
	20	7,10±0,37 ^A	6,85±0,67 ^{AB}

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0,05$).

Çizelge 4.54. Sığır köftelerin duyusal sertlik ve sululuk değerleri ($n=8$) üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi

Pişirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Duyusal Sertlik	Duyusal Sululuk
Geleneksel pişirme	-	7,60±0,51 ^{A*}	6,20±0,59 ^D
Atmosfer	10	7,63±0,33 ^A	6,65±0,54 ^{CD}
	15	7,41±0,49 ^A	7,09±0,71 ^{BC}
	20	7,33±0,40 ^A	6,68±0,46 ^{CD}
Vakum	10	7,44±0,39 ^A	7,41±0,70 ^{AB}
	15	7,24±0,51 ^A	7,59±0,64 ^{AB}
	20	7,34±0,48 ^A	7,89±0,73 ^A

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0,05$).

Tavuk köftelere ait enstrümantal TPA parametreleri ile duyusal sertlik ve sululuk değerleri arasındaki korelasyon Çizelge 4.55'te gösterilmiştir. Tavuk köftelerin enstrümantal sertlik değerleri ile yapışkanlık değerleri arasında pozitif (Pearson korelasyon katsayısı (($R=0,9665$)) ve istatistiksel olarak önemli bir korelasyon bulunmuştur ($p<0,05$). Tavuk köftelerin duyusal sululuk değerleri ile enstrümantal sertlik ($R=-0,3140$) ve yapışkanlık değerleri arasında negatif ($R=-0,2662$) ve istatistiksel açıdan önemli bir korelasyon saptanmışken, köftelerin enstrümantal bağlılık değeri ile pozitif ($R=0,3552$) ve istatistiksel olarak önemli bir korelasyon belirlenmiştir ($p<0,05$). TPA ile saptanan parametreler arasında köftelerin sertlik değeri ile yapışkanlık ve çiğnenebilirlik değerleri arasında da pozitif bir ilişki bulunmuştur ($p<0,05$). Ayrıca, tavuk köfte örneklerinin tekstürel bağlılık değerinin de sertlik değeri ile önemli ve negatif bir korelasyona ($R=-0,8528$) sahip olduğu görülmüştür ($p<0,05$). TPA sonuçlarına göre,

tavuk köfte örnekleri daha sert hale geldikçe, yapışkanlık ve çiğnenebilirlik değerleri artmış, bağlılık değeri ise azalmıştır.

Çizelge 4.55. Tavuk köftelere ait enstrümental tekstür profili analizi (TPA) parametreleri ile duyuşal sertlik ve sululuk değerleri arasındaki korelasyon

Parametre	Duyuşal Sertlik	Duyuşal Sululuk	Sertlik (TPA)	Elastikiyet (TPA)	Yapışkanlık (TPA)	Çiğnenebilirlik (TPA)	Bağlılık (TPA)
Duyuşal Sertlik	1,0000*	0,0432 (0,7544)	0,1685 (0,2145)	0,0188 (0,8905)	0,2329 (0,0841)	0,2168 (0,1085)	0,0037 (0,9978)
Duyuşal Sululuk		1,0000	-0,3140 (0,0196)**	0,0416 (0,7630)	-0,2662 (0,0495)	-0,2121 (0,1201)	0,3552 (0,0078)
Sertlik (TPA)			1,0000	0,1205 (0,3763)	0,9665 (<,0001)	0,8966 (<,0001)	-0,8528 (<,0001)
Elastikiyet (TPA)				1,0000	0,0952 (0,4854)	0,4744 (0,0002)	-0,1823 (0,1787)
Yapışkanlık (TPA)					1,0000	0,9167 (<,0001)	-0,6943 (<,0001)
Çiğnenebilirlik (TPA)						1,0000	-0,6848 (<,0001)
Bağlılık (TPA)							1,0000

*Üstteki değerler Pearson korelasyon katsayılarını (R), parantez içindeki değerler ise katsayıların istatistiksel açıdan önemlilik düzeyini göstermektedir **p<0,05 Seviyesinde istatistiksel olarak önemli korelasyonlar için kalın yazılmıştır.

Gıdalarda tekstürel sertlik, yapışkanlık, elastikiyet ve çiğnenebilirlik artan pişirme kaybıyla artmakta olup genellikle yapının sertleşmesi ile gıdanın sertliği artmakta ve pişirme ile suyun uzaklaştırılması ürünün kuruluğunu arttırdığından, artan pişirme kaybıyla da sululuk azalmaktadır (Pematilleke vd., 2021). Çalışmamızda köftelerin tekstürel sertlik değerleri ile sululuk değerleri arasında bu nedenle negatif bir korelasyon bulunmuş olabilir. Benzer korelasyonlar Ruiz De Huidobro vd. (2005) tarafından da rapor edilmiş, enstrümental ve duyuşal sertlik ile enstrümental ve duyuşal çiğnenebilirlik arasında anlamlı derecede yüksek ve pozitif korelasyonlar gözlenmiştir. Vasanthi (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmada su banyosunda ve basınç altında pişirilen manda etlerinde duyuşal testlerde yumuşaklık puanları arttıkça, sululuk puanları da su banyosundaki sıcaklık ve pişirme süresiyle birlikte artmıştır. Yumuşaklık ve sululuğun birbiriyle yakından ilişkili olduğu, et ne kadar yumuşak ise çiğneme yoluyla suyun o kadar çabuk salındığı ve böylece etin daha sulu algılandığı bildirilmiştir (Cross, 1986).

Sığır köftelere ait enstrümental TPA parametreleri ile duyuşal sertlik ve sululuk değerleri arasındaki korelasyon Çizelge 4.56’de gösterilmiştir. Sığır köfte örneklerine ait korelasyon değerleri incelendiğinde, köftelere ait enstrümental bağlılık değerlerinin duyuşal sertlik değerleri ile negatif ($R=-0,9102$) ve sululuk değerleri ile pozitif ($R=0,2803$) bir korelasyon içerisinde olduğu görülmüştür ($p<0,05$). Sığır köftelere ait enstrümental sertlik değerleri arttıkça elastikiyet değerleri azalmıştır ($R=-0,7929$)

($p<0,05$). Diğer taraftan, köftelerin elastikiyet değerleri azalırken yapışkanlık ve çiğnenebilirlik değerlerinde ise yükselmelerin (sırasıyla $R=-0,8142$ ve $-0,5139$) olduğu saptanmıştır ($p<0,05$). Pematilleke vd. (2021) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, sığır etinin pişirilmesi sırasında artan pişirme sıcaklığı ($65-85^{\circ}\text{C}$) ve süresi (30-60 dakika) sığır etinin sertlik ve çiğnenebilirliğini önemli ölçüde artırırken yapışkanlık ve sululuk değerlerini önemli ölçüde azaltmıştır. Korelasyon verilerine göre, enstrümantal ve duyuusal sertlik, çiğnenebilirlik ve yapışkanlık değerleri arasında pozitif ve istatistiksel açıdan önemli korelasyonlar saptanmıştır. Çalışmamızda elde ettiğimiz korelasyon bulguları, literatür ile uyumlu bulunmuştur.

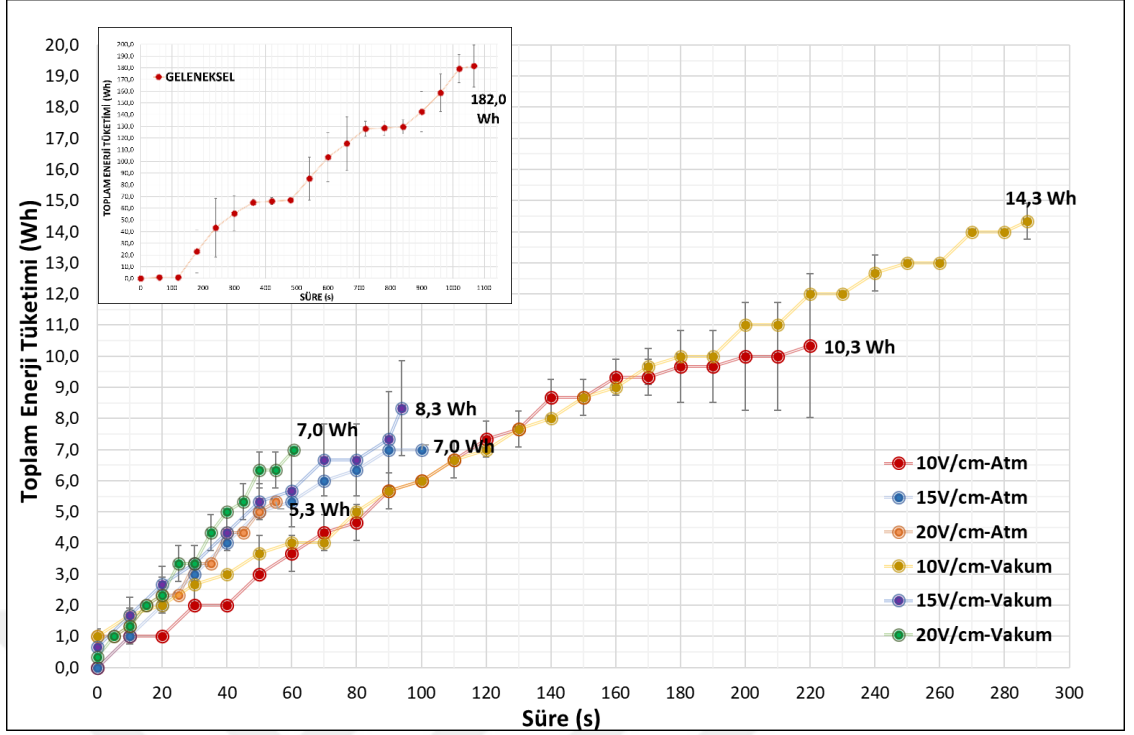
Çizelge 4.56. Sığır köftelere ait enstrümantal tekstür profili analizi (TPA) parametreleri ile duyuusal sertlik ve sululuk değerleri arasındaki korelasyon

Parametre	Duyuusal Sertlik	Duyuusal Sululuk	Sertlik (TPA)	Elastikiyet (TPA)	Yapışkanlık (TPA)	Çiğnenebilirlik (TPA)	Bağlılık (TPA)
Duyuusal Sertlik	1,0000*	-0,1328 (0,3293)	0,0443 (0,7457)	0,0009 (0,9947)	-0,0431 (0,7527)	-0,0645 (0,6366)	-0,9102 (0,0200)
Duyuusal Sululuk		1,0000	-0,0543 (0,6911)	-0,1950 (0,1496)	0,0099 (0,9420)	-0,0578 (0,6724)	0,2803 (0,0364)
Sertlik (TPA)			1,0000	-0,7929 ($<0,0001$)**	0,9759 ($<0,0001$)	-0,0645 (0,6366)	0,0355 (0,7952)
Elastikiyet (TPA)				1,0000	-0,8142 ($<0,0001$)	-0,5139 ($<0,0001$)	-0,1154 (0,3971)
Yapışkanlık (TPA)					1,0000	0,9087 ($<0,0001$)	0,2114 (0,2178)
Çiğnenebilirlik (TPA)						1,0000	0,2825 (0,0349)
Bağlılık (TPA)							1,0000

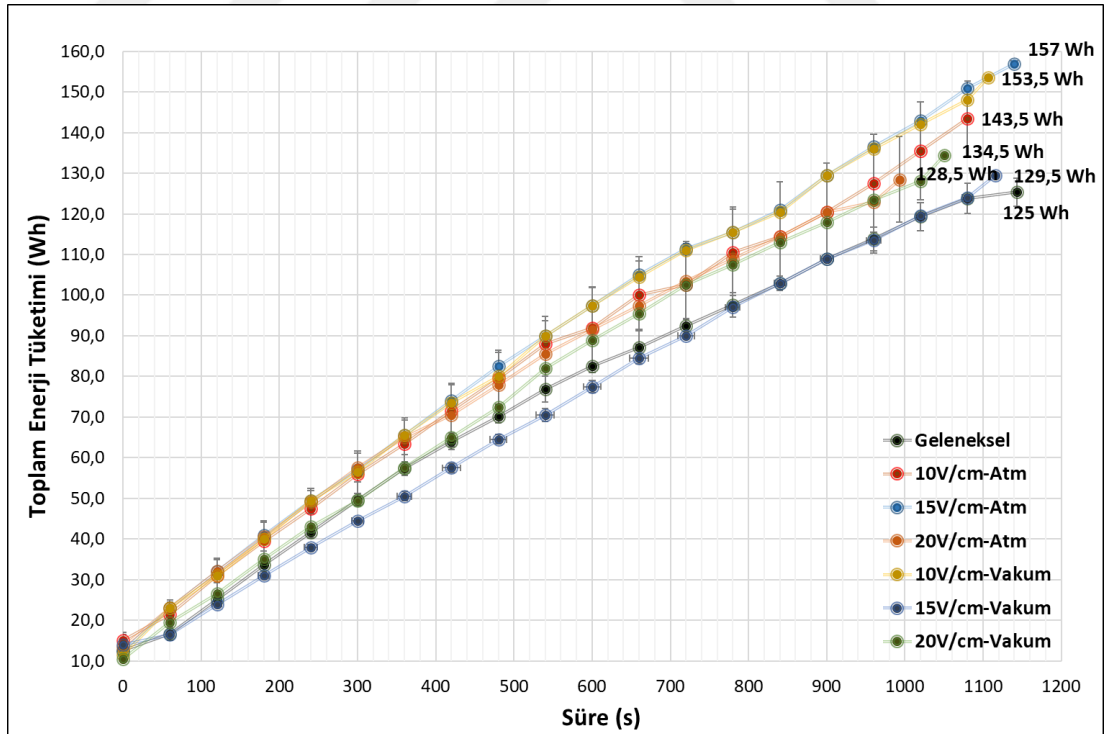
*Üstteki değerler Pearson korelasyon katsayılarını (R), parantez içindeki değerler ise katsayıların istatistiksel açıdan önemlilik düzeyini göstermektedir ** $p<0,05$ Seviyesinde istatistiksel olarak önemli korelasyonlar için kalın yazılmıştır.

4.17. Enerji Tüketimi

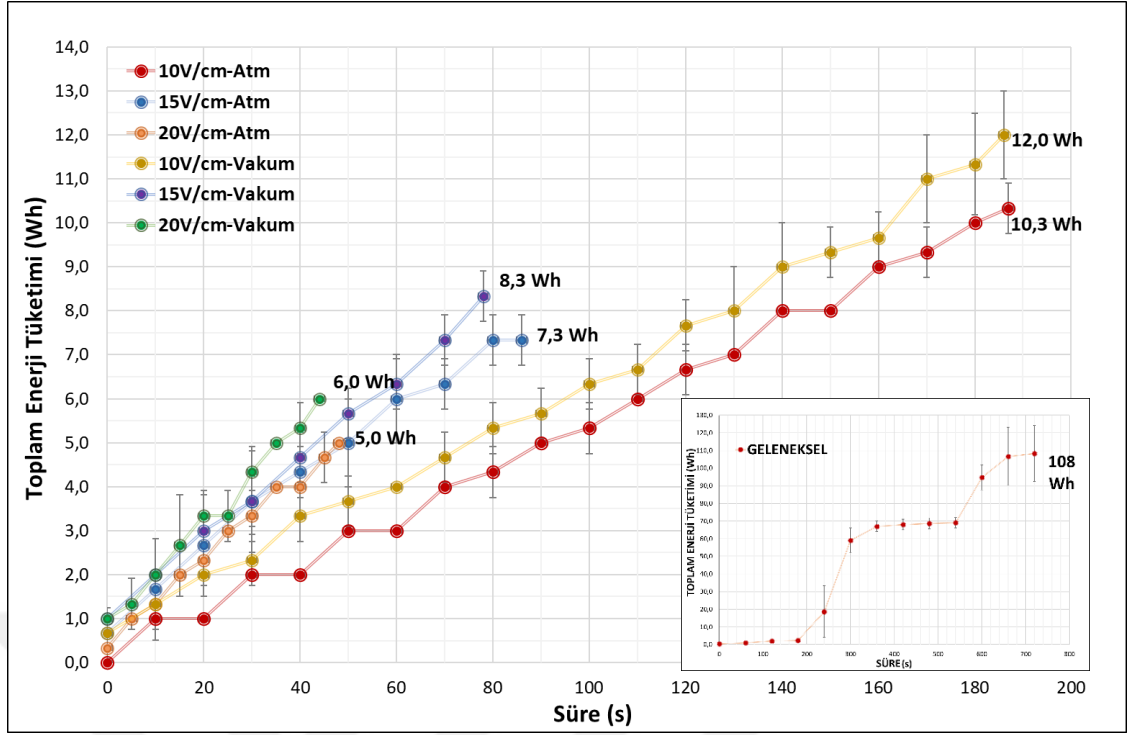
Tavuk ve sığır köftelere uygulanan ön pişirme işlemleri sırasında toplam enerji tüketimi değerleri sırasıyla Çizelge 4.57 ve 4.58’de sunulmuştur. Tavuk ve sığır köftelerin ön pişirilmesi ve vakum soğutulması için harcanan enerji değerlerinin zamana karşı değişimi tavuk köfte için Şekil 4.24 ve 4.25’te, sığır köfte için ise Şekil 4.26 ve 4.27’de gösterilmiştir.



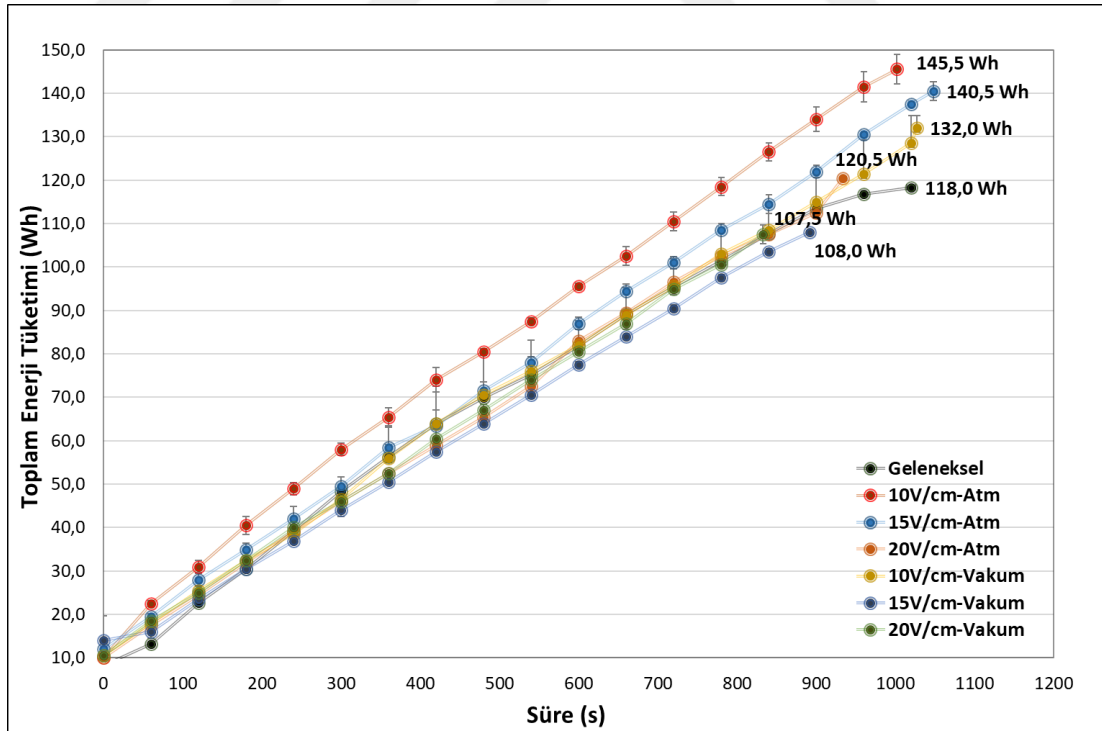
Şekil 4.24. Tavuk eti köftelerinin geleneksel ve farklı ohmik ısıtmalı ön pişirilmesi sırasında harcanan ortalama enerjinin (Wh) zamana karşı kümülatif değişimi



Şekil 4.25. Tavuk eti köftelerinin geleneksel ve farklı ohmik ısıtmalı ön pişirilmesini takiben vakum soğutulması sırasında harcanan ortalama enerjinin (Wh) zamana karşı kümülatif değişimi



Şekil 4.26. Sığır eti köftelerinin geleneksel ve farklı ohmik ısıtmalı ön pişirilmesi sırasında harcanan ortalama enerjinin (Wh) zamana karşı kümülatif değişimi



Şekil 4.27. Sığır eti köftelerinin geleneksel ve farklı ohmik ısıtmalı ön pişirilmesini takiben vakum soğutulması sırasında harcanan ortalama enerjinin (Wh) zamana karşı kümülatif değişimi

Tavuk köftelerin ön pişirilmesi için geleneksel işlemde 181,7 Wh enerji harcanırken, ohmik ısıtım tüm ön pişirme işlemlerine (5,3-14,3 Wh arasında) göre oldukça yüksek bulunmuştur ($p<0,05$) (Çizelge 4.57). Ohmik ısıtım ön pişirme işleminin vakum veya atmosfer basıncında uygulanması pişirme için harcanan toplam enerji tüketimine etki etmezken ($p>0,05$) bu işlemler sırasında kullanılan voltaj gradyanı da harcanan enerji üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$).

Çizelge 4.57. Tavuk eti köftelerinin geleneksel ve farklı ohmik ısıtım ön pişirme işlemi ve sonrasında gerçekleştirilen vakum soğutma (VS) işlemine ait toplam enerji tüketimi ile spesifik enerji tüketimi (SET) değerleri

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Ön-Piştirme için Toplam Enerji Tüketimi (Wh)	Ön-Piştirme için SET (kJ/kg)	Vakum Soğutma (VS) için Toplam Enerji Tüketimi (Wh)	VS için SET (kJ/kg)
Geleneksel	-	181,67±21,01 ^{A*}	16350,00±1890,71 ^A	126,00±3,46 ^C	13341,18±366,79 ^B
Atmosfer	10	10,33±2,31 ^B	930,00±207,85 ^B	143,50±9,19 ^{AB}	13962,16±894,39 ^{AB}
	15	7,00±0,00 ^B	630,00±0,00 ^B	157,00±4,54 ^A	14492,31±391,63 ^A
	20	5,33±0,58 ^B	480,00±51,96 ^B	128,50±10,61 ^C	12173,68±1004,84 ^C
Vakum	10	14,33±0,58 ^B	1290,00±51,96 ^B	153,50±3,54 ^A	14169,23±326,36 ^{AB}
	15	8,33±1,53 ^B	750,00±137,48 ^B	129,50±0,71 ^{BC}	11953,85±65,27 ^C
	20	7,00±0,00 ^B	630,00±0,00 ^B	134,50±6,36 ^{BC}	12415,00±587,44 ^C

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0,05$).

Sığır köftelerin geleneksel yöntemle ön pişirilmesi için 105,0 Wh enerji harcanmış ve bu değer ohmik ısıtım ön pişirmede harcanan enerjiye (5,0-12,0 Wh arasında) kıyasla oldukça yüksek bulunmuştur ($p<0,05$) (Çizelge 4.58). Sığır köfteler için de tavuk köftelerin ön pişirilmesinde harcanan enerjilere benzer sonuçlar bulunmuştur. Köfte örneklerine ait toplam enerji tüketimi değerleri geleneksel ön pişirme için ohmik ısıtım ön pişirme işlemlerine kıyasla yaklaşık 9-20 kat azalmıştır (Çizelge 4.57 ve 4.58). Vakum altında gerçekleştirilen ohmik ısıtım ön pişirme işlemlerinde sistemde enerji tüketimi değerleri bir miktar (tavuk köfte için yaklaşık %19-38, sığır köfte için yaklaşık %11-20) artmıştır. Ön pişirme işlemi sırasında vakum basıncı elde etmek için kullanılan vakum pompasının da sisteme dahil olarak enerji harcanması bunun nedeni olabilir. Vakum soğutma için SET değerleri 9675-14966 kJ/kg aralığında saptanmıştır. Jouquand vd. (2015), sığır eti pişirme için mikrodalga pişirmeyi geleneksel pişirme ile karşılaştırmış, geleneksel pişirmede daha yüksek enerji kayıpları saptamıştır.

Çizelge 4.58. Sığır eti köftelerinin geleneksel ve farklı ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemi ve sonrasında gerçekleştirilen vakum soğutma (VS) işlemine ait toplam enerji tüketimi ile spesifik enerji tüketimi (SET) değerleri

Piştirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Ön-Piştirme için Toplam Enerji Tüketimi (Wh)	Ön-Piştirme için SET (kJ/kg)	Vakum Soğutma (VS) için Toplam Enerji Tüketimi (Wh)	VS için SET (kJ/kg)
Geleneksel	-	108,33±21,81 ^{A*}	9750,00±2323,21 ^A	119,33±4,04 ^C	14320,00±484,97 ^A
Atmosfer	10	10,33±0,58 ^B	944,16±52,75 ^B	145,50±6,36 ^A	14966,00±654,58 ^A
	15	7,33±0,58 ^B	660,00±51,96 ^B	140,50±2,12 ^A	14050,00±212,13 ^A
	20	5,00±0,00 ^B	450,00±0,00 ^B	120,50±0,71 ^C	12394,00±72,73 ^A
Vakum	10	12,00±1,00 ^B	1080,00±90,00 ^B	132,00±2,83 ^B	12185,00±261,09 ^A
	15	8,33±0,58 ^B	731,71±50,69 ^B	108,00±0,00 ^D	9720,00±0,00 ^A
	20	6,00±0,00 ^B	540,00±0,00 ^B	107,50±2,12 ^D	9675,00±190,92 ^A

* Aynı sütun içindeki farklı üstel harfler ilgili parametre için örnekler arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0,05).

Sığır eti örneklerini pişirmek için geleneksel, elektrikli ve elektrik alan pişirme yöntemlerini kullanan bir çalışmada (Bedone vd., 2021), elektro-ısıtma yönteminde sığır eti örneklerinin sıcaklığını 72°C'ye çıkarmak için gereken SET değeri 239 kJ/kg olarak, elektrikli pişirici ve su banyosuna daldırarak (geleneksel) pişirme işlemleri için ise bu değerler sırasıyla 318,90 ve 1260,04 kJ/kg olarak rapor edilmiştir. Tavuk yan ürünlerinden aminoasitlerin geri kazanımında ohmik ısıtmanın kullanıldığı bir çalışmada (Kadem vd., 2023), farklı elektrik alan şiddetlerinde (5,71-8,57 V/cm) ve farklı sürelerde (15-45 dakika) uygulanan ohmik ısıtma işlemleri sonucu elektrik alanın şiddetinin artmasıyla birlikte SET değerlerinin azaldığı saptanmış olup, SET değerleri genel olarak 403,68-3474,7 kJ/kg arasında belirlenmiştir.

Ohmik ısıtma genellikle enerji verimliliği açısından geleneksel yöntemlere göre daha verimli bir ısıtma kaynağı olarak kabul edilmekte ve yöntem için %90'dan daha yüksek enerji verimlilikleri rapor edilmektedir (De Halleux vd., 2005). Bu nedenle, tüm şartlar eşit olduğunda, belirli bir sıcaklık artışı için ohmik ısıtmanın geleneksel pişirmeye göre daha az güç gerektirdiği bildirilmektedir. Geleneksel ön pişirme işlemi için harcanan enerji 108 Wh iken ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerinde bu enerji 5-12 Wh aralığında değişmiş, ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemleri için %90'ın üzerinde enerji tasarrufu sağlandığı belirlenmiştir. Ohmik pişirme işleminde cihaz enerji tüketiminin (211-252 kJ/kg), pastörizasyon için gerekli minimum şartları karşılayarak, geleneksel tutsü odasında pişirilmiş Bologna jambonuna göre (1200-8100 kJ/kg) enerji tüketimini %82-97 oranında azaltabileceği bildirilmiştir (De Halleux vd., 2005). Kuyu suyunda patojen inaktivasyonu üzerine voltaj gradyanının (15–30 V/cm) ve işlem süresinin (45-150 s)

etkisinin araştırıldığı bir çalışmada (Darvishi vd., 2021), voltaj gradyanının artmasıyla SET değerinin arttığı ve 185,5-377,4 kJ/kg aralığında değiştiği bildirilmiştir.

Bozkurt ve Icier (2010) elektrik enerjisinin işlem süresine dönüştürülüp ısı enerjisine dönüşme miktarının voltaj gradyanına ve numuneden geçen akıma bağlı olduğunu rapor etmiştir. Çalışmamızda voltaj gradyanındaki artış ile toplam enerji tüketimi değerleri azalmıştır. Sıcaklık artışı yüksek voltaj gradyanlarında daha yüksek olduğundan düşük işlem süresi nedeniyle enerji tüketimlerinin bir miktar düşük olabileceği düşünülmektedir.

4.18. Metal Seviyeleri

Tavuk eti köftelere ait metal seviyeleri Çizelge 4.59’da sunulmuştur. Tavuk eti köftelerde nikel (Ni), krom (Cr) ve manganez (Mn) tespit edilmemiş olup metal seviyelerinin dedeksiyon limiti (LOD) altında olduğu saptanmıştır. Ohmik ön pişirme işlemi, plaka şeklindeki düz paslanmaz çelik (316) elektrotlardan paslanmaz çeliğin ana bileşenleri olan Cr ve Ni metallerinin köfte örneklerine geçişine (migrasyonuna) neden olmamıştır. Paslanmaz çeliğin temel bileşenleri demir, krom, nikel, karbon, molibden ve az miktarda diğer metallerdir. 316 numaralı paslanmaz çelikler ise %16 Cr ve %10 Ni’den oluşmakta ve korozyon direncini arttırmak için yapısına %2 oranında molibden ilave edilmektedir. Çizelge 4.59 incelendiğinde, örneklerin demir içeriklerinde de önemli bir artış göze çarpmamaktadır.

Çizelge 4.59. Tavuk köftelerin metal seviyeleri (mg/kg) üzerine farklı ön pişirme işlemleri ve koşullarının etkisi

Pişirme Türü/ Basıncı	Voltaj Gradyanı (V/cm)	Ni (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Cr (mg/kg)
Çiğ	-	<LOD	<LOD	0,068	<LOD
Atmosfer	10	<LOD	<LOD	0,074	<LOD
	15	<LOD	<LOD	0,062	<LOD
	20	<LOD	<LOD	0,059	<LOD
Vakum	10	<LOD	<LOD	0,062	<LOD
	15	<LOD	<LOD	0,060	<LOD
	20	<LOD	<LOD	0,068	<LOD

<LOD: Metal içeriği belirleme sınırının (Limit of detection, Gözlenebilme sınırı LOD) altında kalan değerleri göstermektedir.

ABD Tıp Enstitüsü Gıda ve Beslenme Kurulu tarafından yetişkinlerde demir (Fe) için tolere edilebilir üst alım seviyesi 45 mg/gün olarak belirlenmiştir (Anonim, 2001). Çizelge 4.59’da yer alan veriler kullanılarak, atmosfer ve vakum basıncında farklı voltaj gradyanlarında ohmik pişirilmiş 1 porsiyon (120 g) köftenin metal seviyelerinin tolere

edilebilir üst alım seviyelerinin oldukça altında (0,01 mg düzeyinde) olduğu saptanmıştır. Yücel Sengun vd. (2014) tarafından gerçekleştirilen çalışmada da benzer bulgular elde edilmiş, ohmik pişirilmiş köftenin metal seviyelerinin tolere edilebilir üst alım seviyelerinin oldukça altında olduğu bildirilmiştir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada geleneksel yöntem (konveksiyonel fırın) ve iki farklı (atmosfer ve vakum) basınç altında gerçekleştirilmiş ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemi tavuk ve sığır köftelere uygulanmış, ön pişirme işlemleri alternatif bir soğutma tekniği olan vakum soğutma teknolojisi ile entegre edilmiş, yöntemlerin kombine kullanımı ile potansiyel faydaları birleştirilmiştir. Entegre işlemlerin tavuk ve sığır köftelerin bazı fizikokimyasal, tekstürel, mikrobiyolojik ve duyuşal özelliklere üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Aynı zamanda işlemlerin pişirme ve soğutma parametrelerine etkisi ile sıcaklık homojenliği ve toplam enerji tüketimi gibi parametrelere etkisi incelenmiş ve kıyaslanmıştır.

Çalışmanın ilk aşamasında ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminin etkinliğini artırmak için tavuk ve sığır köftelerin elektriksel iletkenlik değerlerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiş ve optimizasyonda en uygun modelin doğrusal model olduğu belirlenmiştir. En yüksek elektriksel iletkenlik değerini verecek şekilde köftelerin yağ ve tuz içerikleri optimize edilmiş ve maksimum elektriksel iletkenlik değerini sağlayan değerler saptanmıştır. Tavuk ve sığır köftelerin her ikisi için de optimum iletkenlik değeri %12,20 yağ içeriği ve %1,85 tuz içeriği değerleri için elde edilmiş ve köfte hamurlarının elektriksel iletkenlik değerleri sırasıyla 0,253 ve 0,706 S/m olarak bulunmuştur.

Çalışmanın bir sonraki aşamasında optimum yağ ve tuz içerecek şekilde hazırlanan tavuk ve sığır köfteler üç farklı ön pişirme yöntemi (geleneksel, atmosfer basıncı altında ohmik ısıtma ve vakum altında ohmik ısıtma) ile pişirilmiş, ohmik ısıtmalı yöntemlerde üç farklı voltaj gradyanı (10, 15 ve 20 V/cm) kullanılmıştır. Ohmik ön pişirme işlemi geleneksel pişirmeye kıyasla köfte örneklerinde genel olarak daha yüksek yağ ve su içerikleri ile desteklenen artan pişirme verimleri ile sonuçlanmıştır. Bu sonuçlar, tavuk ve sığır köftelerin ön pişirilmesinde ohmik ısıtma ile ön pişirme işleminin uygulanmasının önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir. Geleneksel pişirmeye ait köftelerin yağ içerikleri vakum altında gerçekleştirilen ohmik ısıtmalı ön pişirilmiş köftelerden genel olarak düşük bulunmuştur. Yine vakum altında gerçekleştirilen ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerinde protein içeriği genel olarak atmosfer koşullarındakine kıyasla yüksek bulunmuştur. Tavuk köftelerde vakum altında uygulanan ohmik ısıtma ile ön pişirme işlemlerinde atmosfer basıncındakine kıyasla pişirme kayıpları azalmıştır ($p>0,05$). Sığır köftelerde ise vakum altında 15 ve 20 V/cm voltaj gradyanlarında ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemleri için pişirme kayıpları sayısal olarak atmosfer koşullarına göre düşük olmuştur ($p>0,05$).

Tavuk köftelerde ohmik ısıtmalı ön pişirme işlem süreleri geleneksel yöntemle kıyasla çok kısa sürmüştür ($p<0,05$). Ohmik ısıtmalı ön pişirmede voltaj gradyanı arttıkça işlem süreleri önemli düzeyde azalmıştır ($p<0,05$). Farklı voltaj gradyanlarında ve farklı basınçlarda uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemleri sonrası vakum soğutma sürelerinde genel olarak önemli bir farklılık saptanmamıştır. Sığır köftede aynı voltaj gradyanı için vakum altında ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerinde atmosfer basıncındaki ön pişirme işlem sürelerine kıyasla biraz azalma olsa da fark istatistiksel açıdan önemsiz olmuştur ($p>0,05$). Tavuk köftelerde pişirme kaybı değerleri ohmik ısıtmalı ön pişirme yöntemlerinde (%0,83-5,65) geleneksel ön pişirmeye (%11,05) kıyasla oldukça düşük olmuş ve buna bağlı olarak pişirme verimi değerlerinin yükseldiği görülmüştür ($p<0,05$). Benzer sonuçlar sığır köfte için de saptanmış olup pişirme kaybı değerlerinin tavuk köfteye göre daha yüksek olduğu ve %8,40-22,13 aralığında değiştiği gözlenmiştir.

Köftelerin çaplarındaki değişim incelendiğinde, ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerine kıyasla geleneksel pişirmede çap değişimi yüksek (yaklaşık 2-4 kat arasında) olmuştur ($p<0,05$). Vakum altında ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerinde çap değişimi atmosfer basıncına kıyasla azalmış ancak fark istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$). Ön pişirme yönteminin köfte örneklerinin su tutma kapasitesi, su aktivitesi ve pH değerleri üzerinde önemli bir etkisi genel olarak saptanmamıştır.

Ön pişirme işlem ve koşullarının tavuk ve sığır köftelerdeki lipid oksidasyonu düzeyleri üzerine etkisi incelendiğinde, farklı depolama sıcaklıkları ve günleri için TBARS değerleri tavuk köftelerde 0,57-4,88 mg MA/kg aralığında, sığır köftelerde ise 1,81-5,15 mg MA/kg aralığında bulunmuştur. Ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminin vakum altında gerçekleştirilmesi köftelerin TBARS değerlerini atmosfer basıncındaki uygulamalara göre genel olarak azaltmıştır. Bu açıdan, daha düşük lipid oksidasyonu değerleri ile ön pişirilmiş köftelerin raf ömrünün uzatılabilmesinde vakum altında uygulanan ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminin avantaj sağlayabileceği öngörülmektedir. Tavuk köftelerle gerçekleştirilen denemelerde geleneksel yöntemle pişirilmiş köftelerin en yüksek TBARS seviyelerine sahip olduğu görülmüş ve ohmik pişirilmiş örneklerde depolama süresiyle birlikte TBARS değerlerindeki artışın her iki köfte türü için de nispeten daha yavaş olduğu bulunmuştur.

Renk değerleri incelendiğinde, tavuk köfte için kesit yüzeyi ve dış yüzey için toplam renk farkı (ΔE^*) değerinin soğukta (+4°C) farklı depolama günleri için geleneksel pişirme işleminde diğer yöntemlere kıyasla daha yüksek olduğu saptanmıştır ($p<0,05$).

Sayısal anlamda en yüksek parlaklık değerleri geleneksel ön pişirilmiş tavuk köfteler için saptanmıştır.

Köftelerin enstrümental sertlik değerleri değerlendirildiğinde, geleneksel ön pişirme yöntemine maruz bırakılan tavuk köfteler (bütün halde) en düşük sertlik değerlerine sahip olmuştur. Vakum altında ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminde köftelerinin kesit yüzeyine ait sertlik değerleri atmosfer basıncında gerçekleştirilen ön pişirme işlemine kıyasla azalmıştır. Vakum altında ohmik ısıtmalı ön pişirilmiş köftelerin kesit sertlik değerlerinin daha düşük oluşu (daha yumuşak bir yapı), nispeten daha kısa işlem süresi ve daha düşük pişirme kayıplarıyla açıklanabilir.

Köftelerin TMAB sayısı vakum altında ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemi için atmosfer basıncındaki işleme göre genel olarak daha düşük olmuştur. Yine, voltaj gradyanındaki artış ile TMAB sayıları genel olarak azalmıştır. Soğukta depolama süresince TMAB sayıları genel olarak artmıştır. TMAB ve küf-maya sayıları tavuk köfte için sırasıyla 3,22-7,27 ve 2,61-3,89 log KOB/g aralığında, sığır köfte için ise sırasıyla 3,36-3,80 ve 2,88-3,92 log KOB/g aralığında bulunmuştur.

Ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemleri sırasında voltaj gradyanındaki artış ile her iki köfte türünde de ortalama akım değerleri artmış ve değerler 2,49-7,46 A aralığında saptanmıştır. Vakum altında ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminde, atmosfer basıncı altındakine kıyasla her üç voltaj gradyanında da köftelerin ortalama efektif elektriksel iletkenlik değerlerinde kısmi bir artış gözlenmiştir.

Köftelerin duyuusal sertlik ve sululuk sonuçlarına göre ohmik ısıtmalı ön pişirme işleminin vakum altında uygulanması ile köftelerde herhangi bir negatif etki oluşmamakla beraber, köftelerin duyuusal sululuk değerinde (özellikle sığır köftede) artış görülmüştür. Vakum altında ohmik ısıtmalı ön pişirmeye maruz bırakılan köftelerde yağ dokusunun porlardan kaybının daha az gerçekleştiği stereo zoom mikroskopuyla gözlenmiştir. Ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemi sırasında vakum uygulaması pişirme işlemindeki ağırlık kayıplarını (nem ve yağ gibi) azaltarak köftelerin sululuğunu korumak suretiyle avantaj sağlayabilecek niteliktedir.

Köftelerin ön pişirilip vakum soğutulması sırasında harcanan enerji değerleri incelendiğinde, geleneksel ön pişirme işlemine kıyasla ohmik ön pişirme işlemleri için %90'dan yüksek enerji tasarrufu sağlanmıştır. Tavuk köftelerin ön pişirilmesi için geleneksel işlemde 181,7 Wh enerji harcanırken, ohmik ısıtmalı tüm ön pişirme işlemlerine (5,3-14,3 Wh arasında) göre oldukça yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Benzer şekilde, sığır köftelerin geleneksel yöntemle ön pişirilmesi için 105,0 Wh enerji

harcanmış ve bu değer ohmik ısıtmalı ön pişirmede harcanan enerjiye (5,0-12,0 Wh arasında) kıyasla oldukça yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Köfte örneklerine ait toplam enerji tüketimi değerleri geleneksel ön pişirme için ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerine kıyasla yaklaşık 9-20 kat azalmıştır. Vakum altında gerçekleştirilen ohmik ısıtmalı ön pişirme işlemlerinde sistemde enerji tüketimi değerleri sisteme pompa entegrasyonu sebebiyle bir miktar artmıştır.

Tasarlanan entegre sistemde ön pişirme ve vakum soğutma bölmelerinde örnek sıcaklığı izlenebilmiş, bu sayede geleneksel pişirmeye kıyasla yer yer aşırı pişmeden kaynaklanacak kalite kayıpları ve enerji maliyeti artışının önüne geçilebilmiştir. Ayrıca, vakum altında gerçekleştirilen ön pişirme işlemleri sonucu atmosfer koşullarındaki pişirme işlemlerine kıyasla saptanan kısmen daha düşük pişirme kayıpları, enstrümental sertlik ve TBARS değerleri, mikrobiyal gelişimin daha düşük oluşu, duyusal açıdan sululuk değerinin yüksek oluşu ile ülkemizdeki ısıtma işlem görmüş tüketime hazır et ürünlerinin kalitesinin geliştirilebilmesi yoluyla tüketicilerin kaliteli beslenmesine de katkı sağlayabilecek bazı çalışma bulguları elde edilmiştir. Ohmik ısıtmalı ön pişirme ve vakum soğutma uygulamalarının gıda ürünlerinde raf ömrü ve kalite özellikleri üzerine etkisi yıllardan beri araştırılmakta olduğundan ve günümüzde ticari olarak kabul edilebilirlik açısından yüksek kaliteli ürünlere olan ihtiyaç artmakta olduğundan gıda endüstrisi açısından bu ve buna benzer çalışmalar önemli olup sayısı artırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Aaslyng M.D., Bejerholm C., Ertbjerg P., Bertram H.C., ve Andersen H.J. (2003). Cooking loss and juiciness of pork in relation to raw meat quality and cooking procedure. *Food Quality and Preference*, 14(4), 277–288.
- Acuff, G.R. (2014). *Microbial Contamination, Decontamination of Fresh Meat*. In C. Devine and M. Dikeman (Ed.), *Encyclopedia of Meat Sciences*, Elsevier, London, UK, 279-290.
- Akkara, M., ve Kayaardı, S. (2014). İleri muhafaza tekniklerinin et kalitesi üzerine etkisi. *Akademik Gıda*, 12(4), 79-85.
- Anar, Ş. (2012). *Et ve Et Ürünleri Teknolojisi*, Dora Yayınları, Bursa, 61-66.
- Anderson, D.R. (2008). *Ohmic Heating as an Alternative Food Processing Technology*. (M.Sc. Thesis). Kansas State University, Kansas.
- Andrews, W. (1992). *Microbiological Analysis, Manuals of Food Quality Control*, Food and Drug Administration, Washington, DC, USA.
- Ángel-Rendón, S.V., Filomena-Ambrosio, A., Cordon-Diaz, S., Benítez-Sastoque, E.R., ve Sotelo-Díaz, L.I., (2019). Ohmic cooking: Application of a novel technology in pork and influences on water holding capacity, cooking loss and colour. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 17, 100164.
- Ángel-Rendón, S.V., Filomena-Ambrosio, A., Hernández-Carrión, M., Llorca, E., Hernando, I., Quiles, A., ve Sotelo-Díaz, I. (2020). Pork meat prepared by different cooking methods. A microstructural, sensorial and physicochemical approach. *Meat Science*, 163, 108089.
- Anonim (2001). *Dietary Reference Intakes For Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc*. Institute of Medicine/Food and Nutrition Board. National Research Council, National Academy Press, Washington DC, USD.
- Anonim (2020). *Ground Beef and Food Safety*, Erişim adresi: <https://www.fsis.usda.gov/food-safety/safe-food-handling-and-preparation/meat/ground-beef-and-food-safety> (Erişim Tarihi: 29.08.2023).
- AOAC (1990a). *Meat and Meat Products*, In: Methods of Analysis. Official Methods of Analyses. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemist International, 39, 931-937.
- AOAC (1990b). *Protein (Crude) in Animal Feed. Dumas Method*. Official method of analysis (AOAC 968.06), 15th Edition, Association of Official Analytical Chemistry Arlington, Virginia, USA.

- Aydin, C., Kurt, Ü., ve Kaya, Y. (2020). Comparison of the effects of ohmic and conventional heating methods on some quality parameters of the hot-smoked fish pâté. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 29(4), 407-416.
- Aymerich, T., Picouet, P.A., ve Monfort, J.M. (2008). Decontamination technologies for meat products. *Meat Science*, 78(1-2), 114-129.
- Balpetek Külçü, D., Günaydın, İ.N.P., ve Aydın, H.K. (2018). Ohmik ve mikrodalga pişirme uygulanmış tavuk göğüs etinin buzdolabı şartlarında depolanması ve bazı mikrobiyal kalite değişimleri. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3(1), 7-14.
- Barbera, S., ve Tassone, S. (2006). Meat cooking shrinkage: Measurement of a new meat quality parameter. *Meat Science*, 73(3), 467-474.
- Barbut, S., ve Mittal, G.S. (1990). Effect of heating rate on meat batter stability, texture and gelation. *Journal of Food Science*, 55(2), 334-337.
- Bendall, J.R., ve Restall, D.J. (1983). The cooking of single myofibres, small myofibre bundles and muscle strips from beef *M. psoas* and *M. sternomandibularis* muscles at varying heating rates and temperatures. *Meat Science*, 8(2), 93-117.
- Bender, A.E. (1992). Meat and meat products in human nutrition in developing countries. *FAO Food and Nutrition Paper*, 53, 1-91.
- Bhattacharya, S. (2014). *Conventional and Advanced Food Processing Technologies*. John Wiley & Sons, Oxford.
- Boldaji, M.T., Borghei, A.M., Beheshti, B., ve Hosseini, S.E. (2015). The process of producing tomato paste by ohmic heating method. *Journal of Food Science and Technology*, 52, 3598-3606.
- Bozkurt, H. (2009). *Köfte Üretiminde Ohmik Pişirmenin Uygulanması, Matematiksel Modellenmesi ve Ekserjetik Optimizasyonu*, (Yüksek Lisans Tezi). Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye.
- Bozkurt, H., ve Icier F. (2010). Ohmic cooking of ground beef: effects on quality. *Journal of Food Engineering*, 96(4), 481-490.
- Brunton, N.P., Lyng, J.G., Zhang, L., ve Jacquier, J.C. (2006). The use of dielectric properties and other physical analyses for assessing protein denaturation in beef biceps femoris muscle during cooking from 5 to 85°C. *Meat Science*, 72(2), 236-244.
- Camou, J.P., Sebranek, J.G., ve Olson, D.G. (1989). Effect of heating rate and protein concentration on gel strength and water loss of muscle protein gels. *Journal of Food Science*, 54(4), 850-854.
- Cavalheiro, D., Schmidt, F.C., Rodrigues, L.G.G., Siga, C., Leitempergher, F., ve Laurindo, J.B. (2013). Processing of perna perna mussels using integrated process

- of cooking and vacuum cooling. *Journal of Food Process Engineering*, 36(2), 192-201.
- Cevik, M., ve Icier, F. (2018). Effects of voltage gradient and fat content on changes of electrical conductivity of frozen minced beef meat during ohmic thawing. *Journal of Food Process Engineering*, 41(4), e12675.
- Chemat, F., ve Khan, M.K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(4), 813-835.
- Chen, J., ve Stokes, J.R. (2012). Rheology and tribology: Two distinctive regimes of food texture sensation. *Trends in Food Science & Technology*, 25(1), 4-12.
- Cheng, Q.F., ve Sun, D.-W. (2006). Feasibility assessment of vacuum cooling of cooked pork ham with water compared to that without water and with air blast cooling. *International Journal of Food Science & Technology*. 41, 938–945.
- Civille, G.V., Carr, B.T., ve Meilgaard, M. (2016). *Sensory Evaluation Techniques*, 5th edition, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Çiçek, Ü., Karabiyıklı, Ş., Kılınçer, F.N., Yıldırım, A.T., ve Cevahiroğlu, H. (2014). Vakum ambalajlı olarak soğukta muhafaza edilen sığır, kuzu ve tavuk etlerinin bazı fizikokimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2014(1), 53-63.
- Cross, H.R., Durland, P.R., ve Seideman, S.C. (1986). *Sensory qualities of meat*, Muscle as food, Academic Press, Cambridge, USA, 279-320.
- Dai, Y., Miao, J., Yuan, S.Z., Liu, Y., Li, X.M., ve Dai, R.T. (2013). Colour and sarcoplasmic protein evaluation of pork following water bath and ohmic cooking. *Meat Science*, 93(4), 898-905.
- Dai, Y., Lu, Y., Wu, W., Lu, X.M., Han, Z.P., Liu, Y., Li, X., ve Dai, R.T. (2014). Changes in oxidation, color and texture deteriorations during refrigerated storage of ohmically and water bath-cooked pork meat. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 26, 341-346.
- Darvishi, H., Ghiasi, F., Rostami, N., ve Fadavi, A. (2021). Effect of ohmic heating on electrochemical-thermal parameters and inactivation of *Escherichia coli* of well water drinkable. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 73, 102786.
- De Halleux, D., Piette, G., Buteau, M.L., ve Dostie, M. (2005). Ohmic cooking of processed meats: energy evaluation and food safety considerations. *Canadian Biosystems Engineering*, 47, 41-47.
- Desmond, E.M., Kenny, T.A., Ward, P., ve Sun, D.W. (2000). Effect of rapid and conventional cooling methods on the quality of cooked ham joints. *Meat Science*, 56, 271-277.

- Di Luccia, A., La Gatta, B., Nicastro, A., Petrella, G., Lamacchia, C., ve Picariello, G. (2015). Protein modifications in cooked pork products investigated by a proteomic approach. *Food Chemistry*, 172, 447-455.
- Dinçer, İ. (2003). *Refrigeration Systems and Applications*, John Wiley & Sons, Ltd., West Sussex, İngiltere.
- Dong, X., Chen, H., Liu, Y., Dai, R., ve Li, X. (2012). Feasibility assessment of vacuum cooling followed by immersion vacuum cooling on water-cooked pork. *Meat Science*, 90(1), 199-203.
- Drummond, L., Zheng, L., ve Sun, D.W. (2015). *Vacuum cooling of foods*, Emerging Technologies for Food Processing, Chapter 26, Academic Press, Cambridge, USA, 464-617.
- Engchuan, W., ve Jittanit, W. (2013). Electrical and thermo-physical properties of meat ball. *International Journal of Food Properties*, 16(8), 1676-1692.
- Engchuan, W., Jittanit, W., ve Garnjanagoonchorn, W. (2014). The ohmic heating of meat ball: Modeling and quality determination. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 23, 121-130.
- Ensoy, Ü. (2004). *Hindi sucuğu üretiminde starter kültür kullanımı ve ısıtma işlem uygulamasının ürün karakteristikleri üzerine etkisi*, (Doktora Tezi). Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Ergezer H., ve Serdaroğlu M. (2008). Et ve et ürünlerinde su tutma kapasitesi ve ölçüm yöntemleri. *Türkiye 10. Gıda Kongresi*, (493-496) Erzurum.
- Eroğlu, E., ve Yıldız, H. (2011). Gıdaların ozmotik kurutulmasında uygulanan yeni tekniklerin enerji verimliliği bakımından değerlendirilmesi. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(2), 41-48.
- Estévez, M., Ventanas, S., ve Cava, R. (2006). Effect of natural and synthetic antioxidants on protein oxidation and colour and texture changes in refrigerated stored porcine liver pâté. *Meat Science*, 74(2), 396-403.
- Faustman, C., Sun, Q., Mancini, R., ve Suman, S.P. (2010). Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control. *Meat Science*, 86(1), 86-94.
- FDA (1995). *Bacteriological Analytical Manual*. Food and Drug Administration, 16th edition. AOAC Int. Gaithersburg.
- Feng, C., Drummond, L., Zhang, Z., Sun, D.W., ve Wang, Q. (2012). Vacuum cooling of meat products: current state-of-the-art research advances. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(11), 1024-1038.
- Ganhão, R., Morcuende, D., ve Estévez, M. (2010). Protein oxidation in emulsified cooked burger patties with added fruit extracts: Influence on colour and texture deterioration during chill storage. *Meat Science*, 85(3), 402-409.

- García-Segovia, P., Andrés-Bello, A., ve Martínez-Monzó, J. (2007). Effect of cooking method on mechanical properties, color and structure of beef muscle (*M. pectoralis*). *Journal of Food Engineering*, 80(3), 813-821.
- Gomes, C.F., Sarkis, J.R., ve Marczak, L.D.F. (2018). Ohmic blanching of Tetsukabuto pumpkin: Effects on peroxidase inactivation kinetics and color changes. *Journal of Food Engineering*, 233, 74-80.
- Güler Dal, H.Ö., Gursöy, O., ve Yilmaz, Y. (2021). Use of ultrasound as a pre-treatment for vacuum cooling process of cooked broiler breasts. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70, 105349.
- Hong, G.P., Min, S.G., Ko, S.H., Shim, K.B., Seo, E.J., ve Choi, M.J. (2007). Effects of brine immersion and electrode contact type low voltage ohmic thawing on the physico-chemical properties of pork meat. *Journal of Food Process Engineering*, 27, 416-423.
- Hugas, M., Garriga, M. ve Monfort, J.M. (2002). New mild technologies in meat processing: High pressure as a model technology. *Meat Science*, 62, 359–371.
- Icier, F., Yucel Sengun, I., Turp, G.Y., ve Arserim, E.H. (2014). Effects of process variables on some quality properties of meatballs semi-cooked in a continuous type ohmic cooking system. *Meat Science*, 96(3), 1345-1354.
- İcier, F. (2003). *Gıdaların Ohmik Isıtma Yöntemiyle Isıtılmasının Deneysel ve Kuramsal Olarak İncelenmesi*, (Doktora Tezi). Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye.
- Jackman, P., Sun, D.W., ve Zheng, L. (2007). Effect of combined vacuum cooling and air blast cooling on processing time and cooling loss of large cooked beef joints. *Journal of Food Engineering*, 81(1), 266-271.
- Jin, T.X., ve Xu, L. (2006). Development and validation of moisture movement model for vacuum cooling of cooked meat. *Journal of Food Engineering*, 75, 333–339.
- Jin, Y., Jiang, C., Jiao, Y., Llave, Y., Fukuoka, M., ve Sakai, N. (2020). Analysis of ohmic heating of yellowtail (*Seriola quinqueradiata*) fillets at high frequencies by 3D simulation-Effect of ohmic heating system (batch and pseudo-continuous), sample shape, and size. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 66, 1-8.
- Jouquand, C., Tessier, F.J., Bernard, J., Marier, D., Woodward, K., Jacolot, P., Gadonna Widehem, P., ve Laguerre, J.C. (2015). Optimization of microwave cooking of beef burgundy in terms of nutritional and organoleptic properties. *LWT-Food Science and Technology*, 60(1), 271-276.
- Kadem, Z.A., Al-Hilphy, A.R., Alasadi, M.H., ve Gavahian, M. (2023). Combination of ohmic heating and subcritical water to recover amino acids from poultry slaughterhouse waste at a pilot-scale: new valorization technique. *Journal of Food Science and Technology*, 60(1), 24-34.

- Karpińska-Tymoszczyk, M. (2008). Effect of the addition of ground rosemary on the quality and shelf-life of turkey meatballs during refrigerated storage. *British Poultry Science*, 49(6), 742-750.
- Ketteringham, L., ve James, S. (2000). The use of high thermal conductivity inserts to improve the cooling of cooked foods. *Journal of Food Engineering*, 45(1), 49-53.
- Khue, D.N., Tiep, H.T., ve Dat, L.Q. (2020). Influence of frequency and temperature on the inactivation of *Salmonella enterica* serovar enteritidis in ohmic heating of pomelo juice. *LWT-Food Science and Technology*, 129(109528), 1-9.
- Kondjoyan, A., Oillic, S., Portanguen, S., ve Gros, J.B. (2013). Combined heat transfer and kinetic models to predict cooking loss during heat treatment of beef meat. *Meat Science*, 95(2), 336-344.
- Kor, G., ve Icier, F. (2016). Thermal imaging during infrared final cooking of semi-processed cylindrical meat product. *Infrared Physics & Technology*, 79, 242-251.
- Kumral, M. (2021). *Yumurtacı Tavuk Etlerinden Üretilen Ürünlerde Kasaplık Hayvan Yağlarının Kullanılması ve Bunun Ürün Kalitesine Etkisi*, (Yüksek Lisans Tezi). Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, Türkiye.
- Lambert, A.D., Smith, J.P., ve Dodds, K.L. (1991). Shelf life extension and microbiological safety of fresh meat-a review. *Food Microbiology*, 8(4), 267-297.
- Lawrie, R.A., ve Ledward, D.A. (1998). The eating quality of meat. *Meat Science*, 4, 300-362.
- Lin, K.W., ve Lin, H.Y. (2004). Quality characteristics of Chinese-style meatball containing bacterial cellulose (Nata). *Journal of Food Science*, 69(3), SNQ107-SNQ111.
- Llave, Y., Udo, T., Fukuoka, M., ve Sakai, N. (2018). Ohmic heating of beef at 20 kHz and analysis of electrical conductivity at low and high frequencies. *Journal of Food Engineering*, 228, 91-101.
- Lombard, G.E., Oliveira, J. C., Fito, P., ve Andrés, A. (2008). Osmotic dehydration of pineapple as a pre-treatment for further drying. *Journal of Food Engineering*, 85(2), 277-284.
- Lyng, J.G., Clemente, I., ve McKenna, B.M. (2019). *Ohmic Pasteurization of Meat and Meat Products*. Handbook of farm, dairy and food machinery Engineering, Academic Press, Cambridge, USA, 593-622.
- Makroo, H.A., Rastogi, N.K., ve Srivastava, B. (2020). Ohmic heating assisted inactivation of enzymes and microorganisms in foods: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 97, 451-465.
- McCarthy, T.L, Kerry, J.P., Kerry, J.F., Lynch, P.B., ve Buckley, D.J. (2001). Evaluation of the antioxidant potential of natural food/plant extracts as compared with

- synthetic antioxidants and vitamin E in raw and cooked pork patties. *Meat Science*, 57, 45–52.
- McDonald, K., Sun, D.W., ve Kenny, T. (2000). Comparison of the quality of cooked beef products cooled by vacuum cooling and by conventional cooling. *LWT-Food Science and Technology*, 33(1), 21-29.
- McDonald, K., ve Sun, D.W. (2000). Vacuum cooling technology for the food processing industry: a review. *Journal of Food Engineering*, 45, 55-65.
- McDonald (2001). *Effects of Vacuum Cooling on Processing Time, Mass Loss, Physical Structure and Quality of Large Cooked Beef Products*, (Ph.D. Dissertation). University College Dublin, Ireland.
- McDonald, K., Sun, D.W., ve Lyng, J.G. (2002). Effect of vacuum cooling on the thermophysical properties of a cooked beef product. *Journal of Food Engineering*, 52(2), 167-176.
- Murphy, R.Y., ve Marks, B.P. (2000). Effect of meat temperature on proteins, texture, and cook loss for ground chicken breast patties. *Poultry Science*, 79(1), 99-104.
- Mutlu Ozturk, H., Ozturk, H.K., ve Koçar, G. (2017). Microbial analysis of meatballs cooled with vacuum and conventional cooling. *Journal of Food Science and Technology*, 54(9), 2825-2832.
- Myers, R.H., ve Montgomery, D.C. (2002). *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments*, 2nd edition, Wiley, New York.
- Nobrega, J.A., Pirola, C., Fialho, L.L., Rota, G., de Campos Jordao, C.A., ve Pollo, F. (2012). Microwave-assisted digestion of organic samples: How simple can it become. *Talanta*, 98, 272-276.
- Ojha, K.S., Kerry, J.P., ve Tiwari, B.K. (2017). Emerging technologies for the meat processing industry. *Advanced Technologies for Meat Processing*, 297-318.
- Oroszvári B.K., Sjöholm I., ve Tornberg E. (2005). The mechanisms controlling heat and mass transfer on frying of beefburgers. I. The influence of the composition and comminution of meat raw material. *Journal of Food Engineering*, 67(4), 499–506.
- Öğüt, S., Seçilmiş Canbay, H., ve Uludağ, H. (2016). Effect of environmental factors on heavy metal content of raw milk. *Akademik Gıda*, 14(2), 105-110.
- Özkan N., Ho I., ve Farid M. (2004). Combined ohmic and plate heating of hamburger patties: quality of cooked patties. *Journal of Food Engineering*, 63(2), 141-145.
- Öztaş, A. (2003). *Et Bilimi ve Teknolojisi*, TMMOB Gıda Mühendisleri Odası, Ankara.
- Palaniappan, S., ve Sastry S.K. (1991). Electrical conductivities of selected foods during ohmic heating. *Journal of Food Process Engineering*, 14(3), 221–236.

- Palka, K., ve Daun, H. (1999). Changes in texture, cooking losses, and myofibrillar structure of bovine *M. semitendinosus* during heating. *Meat Science*, 51(3), 237-243.
- Parmar, P., Singh, A.K., Meena, G.S., Borad, S., ve Raju, P.N. (2018). Application of ohmic heating for concentration of milk. *Journal of Food Science and Technology*, 55, 4956-4963.
- Parrott, D.L. (1992). Use of ohmic heating for aseptic processing of food particulates: Dielectric and ohmic sterilization. *Food Technology (Chicago)*, 46(12), 68-72.
- Pathare, P.B., ve Roskilly, A.P. (2016). Quality and energy evaluation in meat cooking. *Food Engineering Reviews*, 8, 435-447.
- Pematilleke, N., Kaur, M., Adhikari, B., ve Torley, P.J. (2022). Relationship between instrumental and sensory texture profile of beef semitendinosus muscles with different textures. *Journal of Texture Studies*, 53(2), 232-241.
- Pereira P.M.D.C., ve Vicente A.F.D.B. (2013) Meat nutritional composition and nutritive role in the human diet. *Meat Science*, 93(3), 586–592
- Pereira, R.N., Rodrigues, R.M., Genisheva, Z., Oliveira, H., de Freitas, V., Teixeira, J.A., ve Vicente, A.A. (2016). Effects of ohmic heating on extraction of food-grade phytochemicals from colored potato. *LWT-Food Science and Technology*, 74, 493-503.
- Piette, G., Buteau, M.L., De Halleux, D., Chiu, L., Raymond, Y., Ramaswamy, H.S., ve Dostie, M. (2004). Ohmic cooking of processed meats and its effects on product quality. *Journal of Food Science*, 69, 71–78.
- Piette, G., Dostie, M., ve Ramaswamy, H. (2001). *Ohmic Cooking of Processed Meats-State of the Art and Prospects*. In: 47th International Congress of Meat Science and Technology, 62-67.
- Pietrasik, Z. (1999). Effect of content of protein, fat and modified starch on binding textural characteristics, and colour of comminuted scalded sausages. *Meat Science*, 51(1), 17-25.
- Purslow, P.P., Oiseth, S., Hughes, J., ve Warner, R.D. (2016). The structural basis of cooking loss in beef: Variations with temperature and ageing. *Food Research International*, 89, 739-748.
- Richa, R., Shahi, N.C., Singh, A., Lohani, U.C., Omre, P.K., Kumar, A. ve Bhattacharya, T.K. (2017). Ohmic heating technology and its application in meaty food: A review. *Advances in Research*, 10(4), 1-10.
- Richardson, P. (2001). *Thermal Technologies in Food Processing*. Elsevier, CRC Press, Boca Raton, USA.

- Roberts, J., Balaban, O.M. ve Luzuriaga, D. (1996). *Automated Ohmic Thawing of Shrimp Blocks*. In Proceedings of 19th and 20th Annual Conferences Tropical and Subtropical Seafood Science and Technology Safety of the Americas, Florida, USA.
- Rogowski, B. (1980). *Meat in Human Nutrition*, In Aspects of Human Nutrition and Food Contaminants, World Review of Nutrition and Dietetics, Ed. 46, Switzerland.
- Roldán, M., Antequera, T., Martín, A., Mayoral, A.I., ve Ruiz, J. (2013). Effect of different temperature–time combinations on physicochemical, microbiological, textural and structural features of sous-vide cooked lamb loins. *Meat Science*, 93(3), 572-578.
- Ruan, R., Ye, X., Chen, P., Doona, C.J., Taub, I., ve Center, N.S. (2001). *Ohmic Heating. Thermal Technologies in Food Processing*, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Ruiz De Huidobro, F., Miguel, E., Blázquez, B., ve Onega, E. (2005). A comparison between two methods (Warner-Bratzler and texture profile analysis) for testing either raw meat or cooked meat. *Meat Science*, 69(3), 527–536.
- Sabancı, S., ve İcier, F. (2017). Applicability of ohmic heating assisted vacuum evaporation for concentration of sour cherry juice. *Journal of Food Engineering*, 212, 262-270.
- Sarang, S., Sastry, S.K., ve Knipe, L. (2008). Electrical conductivity of fruits and meats during ohmic heating. *Journal of Food Engineering*, 87(3), 351-356.
- Sastry S.K., ve Barach J.T. (2000). Ohmic and inductive heating. *Journal of Food Science*, 65, 42-46.
- Sastry S.K. (1992). *Advances in Ohmic Heating for Sterilisation of Liquid Particle Mixtures*. In Advances in Food Engineering (Singh R.P., Wirakartakusumah M.A.). CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Sastry, S.K., ve Li, Q. (1996). Modeling the ohmic heating of foods. *Food Technology*, 50, 246-248.
- Sayiner, G., ve Beyhan, Y. (2023). Geleneksel Besin Saklama Yöntemleri ve Yeni Teknolojiler. *Toros University Journal of Food Nutrition and Gastronomy*, 2(1), 79-92.
- Schmidt, F.C., Aragão, G.M.F., ve Laurindo, J.B. (2010). Integrated cooking and vacuum cooling of chicken breast cuts in a single vessel. *Journal of Food Engineering*, 100(2), 219-224.
- Serdaroğlu, M., Yıldız-Turp, G., ve Abrodímov, K. (2005). Quality of low-fat meatballs containing legume flours as extenders. *Meat Science*, 70(1), 99-105.

- Shah, M.A., Bosco, S.J.D., ve Mir, S.A. (2015). Effect of Moringa oleifera leaf extract on the physicochemical properties of modified atmosphere packaged raw beef. *Food Packaging and Shelf Life*, 3, 31-38.
- Sharifi, A., Hamidi-Esfahani, Z., Gavligi, H.A., ve Saberian, H. (2022). Assisted ohmic heating extraction of pectin from pomegranate peel. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 172, 108760.
- Shirsat, N., Brunton, N.P., Lyng, J.G., ve McKenna, B. (2004a). Water holding capacity, dielectric properties and light microscopy of conventionally and ohmically cooked meat emulsion batter. *European Food Research and Technology*, 219(1), 1-5.
- Shirsat, N., Brunton, N.P., Lyng, J.G., McKenna, B., ve Scannell, A. (2004b). Texture, colour and sensory evaluation of a conventionally and ohmically cooked meat emulsion batter. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84, 1861–1870.
- Shirsat, N., Brunton, N.P., Lyng, J.G., ve McKenna, B. (2004c). Water holding capacity, dielectric properties and light microscopy of a conventionally and ohmically cooked meat emulsion batter. *European Food Research and Technology*, 219, 1-5.
- Shirsat, N., Lyng, J.G., Brunton, N.P., ve McKenna, B.M. (2004d). Conductivities and ohmic heating of meat emulsion batters. *Journal of Muscle Foods*, 15(2), 121-137.
- Shirsat, N., Lyng, J.G., Brunton, N.P., ve McKenna, B. (2004e). Ohmic processing: Electrical conductivities of pork cuts. *Meat Science*, 67(3), 507-514.
- Shynkaryk, M.V., Ji, T., Alvarez, V B., ve Sastry, S.K. (2010). Ohmic heating of peaches in the wide range of frequencies (50 Hz to 1 MHz). *Journal of Food Science*, 75(7), E493-E500.
- Skudder, J. (1989). Ohmic heating in food processing, *Asean Food Journal*, 4(4), 162-163.
- Soghani, B.N., Azadbakht, M., ve Darvishi, H. (2018). Ohmic blanching of white mushroom and its pretreatment during microwave drying. *Heat and Mass Transfer*, 54, 3715-3725.
- Stirling, R. (1987). Ohmic heating-a new process for the food industry. *Power Engineering Journal*, 1(6), 365-371.
- Sun, D. (2006). *Thermal Food Processing*. Taylor & Francis Group, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Sun, D.W. (2014). *Emerging Technologies for Food Processing*, Academic Press, Cambridge, USA, 469-500.
- Suslow, T. (2000). *Postharvest Handling for Organic Crops Division of Agriculture and Natural Resources*, Publication: 7254, University of California, CA, USA.

- Szczesniak, A.S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13(4), 215-225.
- Şengün, İ.Y., İçier, F., Yıldız-Turp, G., Arserim, E.H., ve Kor, G. (2013). Köfte örneklerinin farklı son sıcaklıklara ohmik yöntemle pişirme etkinliğinin incelenmesi. *Akademik Gıda*, 11(1), 27-33.
- Thompson, A.K. (1996). *Postharvest Technology of Fruit and Vegetables*. Blackwell Science, London, UK.
- Thongtan, K., Toma, R.B., Reiboldt, W., ve Daoud, A.Z. (2005). Effect of rosemary extract on lipid oxidation and sensory evaluation of frozen, precooked beef patties. *Foodservice Research International*, 16(3-4), 93-104.
- Tian, X., Wu, W., Yu, Q., Hou, M., Jia, F., Li, X., ve Dai, R. (2016). Quality and proteome changes of beef *M. longissimus* dorsi cooked using a water bath and ohmic heating process. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 34, 259-266.
- Tian, X., Shao, L., Yu, Q., Yang, H., Li, X., ve Dai, R. (2020). Comparative study of survival of *Escherichia coli* O157: H7 inoculated in pork batter after ohmic cooking and water bath cooking. *International Journal of Food Microbiology*, 304, 11-18.
- Tornberg, E. (2005). Effect of heat on meat proteins- implications on structure and quality of meat products: A review. *Meat Science*, 70, 493-508.
- Toscas P.J., Shaw F.D., ve Beilken S.L. (1999). Partial least squares (PLS) regression for the analysis of instrument measurements and sensory meat quality data. *Meat Science*, 52(2), 173–178.
- Tuan Pham, Q. (2014). Refrigeration in food preservation and processing. *Conventional and Advanced Food Processing Technologies*, 357-386.
- USDA-FSIS (1993). *Heat processing cooking, cooling, handling and storage requirements for uncured meat patties*, Erişim adresi: <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/9/318.23> (Erişim Tarihi: 29.06.2023).
- USDA (2016). *National Nutrient Database for Standard Reference Release*, Erişim adresi: <https://data.nal.usda.gov/dataset/usda-national-nutrient-database-standard-reference-legacy-release> (Erişim Tarihi: 04.10.2023).
- Valerio, F., Skandamis, P.N., Failla, S., Contò, M., Di Biase, M., Bavaro, A.R., Pirovano, M.P., ve Lavermicocca, P. (2020). Microbiological and physicochemical parameters for predicting quality of fat and low-fat raw ground beef during refrigerated aerobic storage. *Journal of Food Science*, 85(2), 465-476.
- Vasanthi, C., Venkataramanujam, V., ve Dushyanthan, K. (2007). Effect of cooking temperature and time on the physico-chemical, histological and sensory properties of female carabeef (buffalo) meat. *Meat Science*, 76(2), 274-280.

- Vaudagna, S.R., Sánchez, G., Neira, M.S., Insani, E.M., Picallo, A.B., Gallinger, M.M., ve Lasta, J.A. (2002). Sous vide cooked beef muscles: effects of low temperature–long time (LT–LT) treatments on their quality characteristics and storage stability. *International Journal of Food Science & Technology*, 37(4), 425-441.
- Wang, L., ve Sun, D.W. (2001). Rapid cooling of porous and moisture foods by using vacuum cooling technology. *Trends in Food Science & Technology*, 12(5-6), 174-184.
- Wills, T.M., Dewitt, C.A.M., Sigfusson, H., ve Bellmer, D. (2006). Effect of cooking method and ethanolic tocopherol on oxidative stability and quality of beef patties during refrigerated storage (oxidative stability of cooked patties). *Journal of Food Science*, 71(3), C109-C114.
- Witte, V.C., Krause, G.F., ve Bailey, M.E. (1970). A new extraction method for determining 2-thiobarbituric acid values of pork and beef during storage, *Journal of Food Science*, 35, 582-585.
- Wood, G., ve Newborough, M. (2007). Influencing user behaviour with energy information display systems for intelligent homes. *International Journal of Energy Research*, 31(1), 56-78.
- Yarmand, M.S., Nikmaram, P., Djomeh, Z.E., ve Homayouni, A. (2013). Microstructural and mechanical properties of camel longissimus dorsi muscle during roasting, braising and microwave heating. *Meat Science*, 95(2), 419-424.
- Ye, T., Chen, X., Chen, Z., Yao, H., Wang, Y., Lin, L., ve Lu, J. (2021). Quality and microbial community of high pressure shucked crab (*Eriocheir sinensis*) meat stored at 4°C. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(4), 15330.
- Yildiz-Turp, G., Yucel Sengun, I., Kendirci, P., ve Icier, F. (2013). Effect of ohmic treatment on quality characteristics of meat: A review. *Meat Science*, 93, 441–448.
- Yildiz Turp, G. (2016). Effects of four different cooking methods on some quality characteristics of low fat Inegol meatball enriched with flaxseed flour. *Meat Science*, 121, 40-46.
- Yildiz Turp, G., Icier, F., ve Kor, G. (2016). Influence of infrared final cooking on color, texture and cooking characteristics of ohmically pre-cooked meatball. *Meat Science*, 114, 46-53.
- Yu, T.Y., Morton, J.D., Clerens, S., ve Dyer, J.M. (2016). Cooking-induced protein modifications in meat. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16, 141-159.
- Yucel Sengun, I., Icier, F., ve Kor, G. (2017). Effects of combined ohmic–infrared cooking treatment on microbiological inactivation of meatballs. *Journal of Food Process Engineering*, 40(1), e12309.

- Yucel Sengun, I., Turp, G.Y., Icier, F., Kendirci, P., ve Kor, G. (2014). Effects of ohmic heating for pre-cooking of meatballs on some quality and safety attributes. *LWT-Food Science and Technology*, 55(1), 232-239.
- Zell, M., Lyng, J.G., Cronin, D.A., ve Morgan, D.J. (2009). Ohmic heating of meats: Electrical conductivities of whole meats and processed meat ingredients. *Meat Science*, 83(3), 563-570.
- Zell, M., Lyng, J.G., Cronin, D.A., ve Morgan, D.J. (2010a). Ohmic cooking of whole beef muscle-Evaluation of the impact of a novel rapid ohmic cooking method on product quality. *Meat Science*, 86(2), 258-263.
- Zell, M., Lyng, J.G., Morgan, D.J., ve Cronin, D.A. (2010b). Ohmic cooking of whole turkey meat-effect of rapid ohmic heating on selected product parameters. *Food Chemistry*, 120(3), 724-729.
- Zheng, L., ve Sun, D.W. (2005). *Vacuum Cooling of Foods*. Emerging Technologies for Food Processing. Academic Press, Cambridge, USA, 579-602.
- Zheng, H.B., Han, M.Y., Yang, H.J., Xu, X.L., ve Zhou, G.H. (2018). The effect of pressure-assisted heating on the water holding capacity of chicken batters. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 45, 280-286.
- Zhou, G.H., Xu, X.L., ve Liu, Y. (2010). Preservation technologies for fresh meat—A review. *Meat Science*, 86(1), 119-128.

EKLER

EK-1

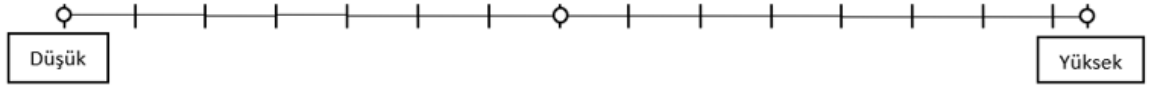
TAVUK KÖFTE DUYUSAL DEĞERLENDİRME FORMU

Sayın Panelist,

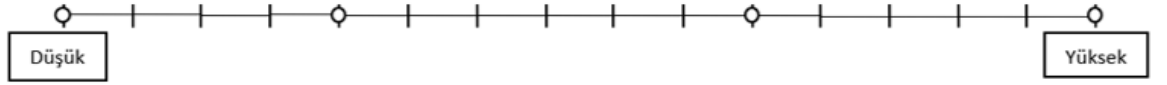
Size, toplamda **7 (yedi) adet tavuk köfte örneği** sunulacaktır. Örneklerin tadına bakmadan önce ağzınıza bir miktar tuzsuz ekmek alıp, su içiniz. Örneklerin tadına baktıktan sonra, sertlik ve sululuk skorlarınızı aşağıdaki skalalarda uygun gördüğünüz kısma **ÇENTİK (✓)** atarak belirtiniz. Örnekler arasında bir parça ekmek ile birlikte biraz su içiniz. Dilerseniz örnekleri tekrar test edebilirsiniz. Katılımınız için teşekkür ederiz.

ÖRNEK NUMARASI: ...

Sertlik Skoru

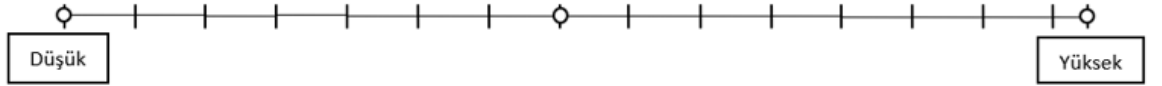


Sululuk Skoru

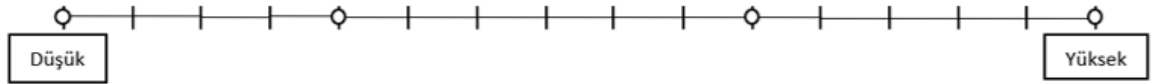


ÖRNEK NUMARASI: ...

Sertlik Skoru

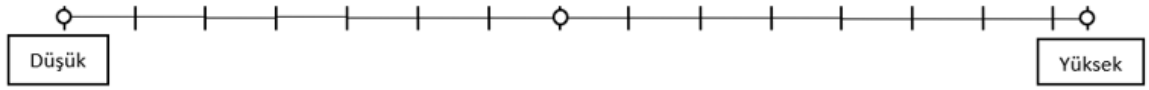


Sululuk Skoru

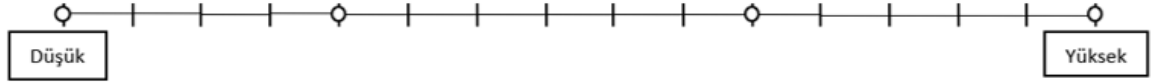


ÖRNEK NUMARASI: ...

Sertlik Skoru

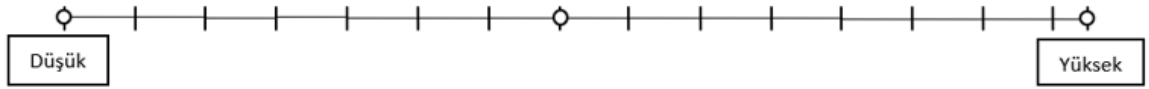


Sululuk Skoru

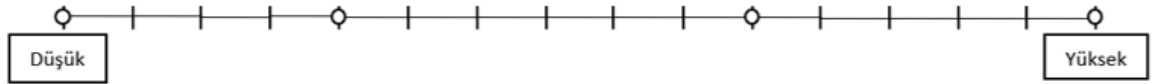


ÖRNEK NUMARASI: ...

Sertlik Skoru

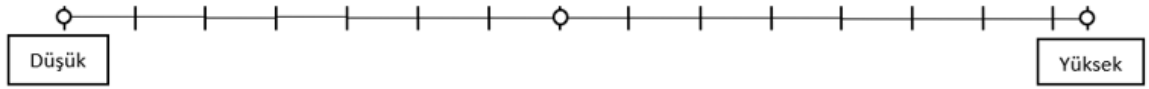


Sululuk Skoru

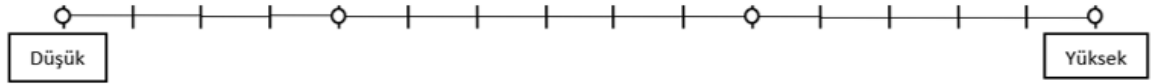


ÖRNEK NUMARASI: ...

Sertlik Skoru

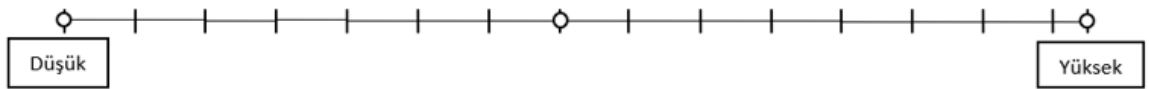


Sululuk Skoru

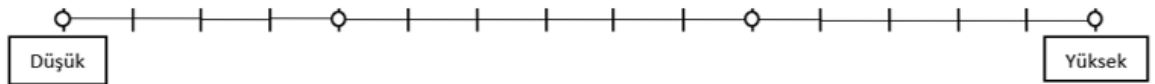


ÖRNEK NUMARASI: ...

Sertlik Skoru

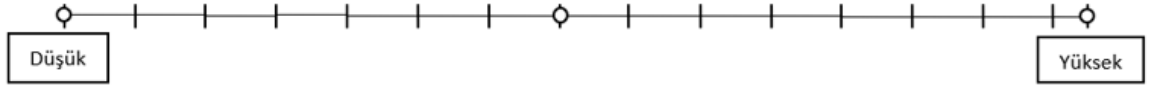


Sululuk Skoru



ÖRNEK NUMARASI: ...

Sertlik Skoru



Sululuk Skoru

