



**YAĞ ORANI VE PİŞİRME YÖNTEMİNİN ISIL İŞLEM
GÖRMÜŞ SUCUKTA POLİSİKLİK AROMATİK
HİDROKARBON OLUŞUMUNA ETKİLERİ**

Mine KIRKYOL

**Doktora Tezi
Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Doç. Dr. Ahmet AKKÖSE**

2024

(Her hakkı saklıdır.)

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

**YAĞ ORANI VE PİŞİRME YÖNTEMİNİN ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ SUCUKTA
POLİSİKLIK AROMATİK HİDROKARBON OLUŞUMUNA ETKİLERİ**

(Effects of Fat Ratio and Cooking Method on the Formation of Polycyclic Aromatic
Hydrocarbons in Heat-Treated Sucuk)

DOKTORA TEZİ

Mine KIRKYOL

Danışman: Doç. Dr. Ahmet AKKÖSE

Erzurum
Nisan, 2024

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Mine KIRKYOL tarafından hazırlanan “Yağ Oranı Ve Pişirme Yönteminin Isıl İşlem Görmüş Sucukta Polisiklik Aromatik Hidrokarbon Oluşumuna Etkileri” başlıklı çalışması 29/04/2024 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gıda Mühendisliği Bilim Dalında doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof. Dr. Mükerrerem KAYA <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Danışman:	Doç. Dr. Ahmet AKKÖSE <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Hamdullah KILIÇ <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Nesimi AKTAŞ <i>Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi:	Doç. Dr. Eda DEMİROK SONCU <i>Ankara Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır

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

Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN

Enstitü Müdürü

Bu çalışma BAP projeleri kapsamında desteklenmiştir.

Proje No: FDK-2021-10070

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Doktora Tezi olarak *Doç. Dr. Ahmet AKKÖSE* danışmanlığında sunulan “Yağ Oranı ve Pişirme Yönteminin Isıl İşlem Görmüş Sucukta Polisiklik Aromatik Hidrokarbon Oluşumuna Etkileri” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	15	30
Kuramsal Temeller	4	30
Materyal ve Metot	23	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	14	20
Sonuçlar	8	20
Tezin Geneli	15	25

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

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

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Mine KIRKYOL	Doç. Dr. Ahmet AKKÖSE
29.4.2024	29.4.2024
İmza: Aslı ıslak imzalıdır	İmza: Aslı ıslak imzalıdır

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

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

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

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim boyunca hep desteğini hissettiğim, bana her zaman yol gösteren ve bu çalışmanın planlanması, yürütülmesi ve sonuçların değerlendirilmesinde bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ahmet AKKÖSE'ye minnettarlığımı bildirir, teşekkür ederim.

Araştırma boyunca bilgi ve birikimine başvurduğum saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. Mükerrerem KAYA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bu çalışmanın tüm aşamalarında bilgi, birikim ve tecrübeleriyle bana ışık olan, özellikle çalışmanın esasını oluşturan PAH analizlerinin gerçekleştirilmesinde destek ve emeklerini esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. Güzin KABAN'a içtenlikle teşekkür ederim.

Tüm hayatımda her anımda yanımda olup beni destekleyen kıymetli annem Nazlı KIRKYOL'a ve babam Yavuz KIRKYOL'a, sevgili kardeşlerim Murat KIRKYOL ve Muhammed Talha KIRKYOL'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Bu çalışmayı FDK-2021-10070 proje numarası ile desteklemiş olan Atatürk Üniversitesi BAP birimine teşekkürlerimi sunarım.

Mine KIRKYOL

ÖZET

DOKTORA TEZİ

YAĞ ORANI VE PIŞİRME YÖNTEMİNİN ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ SUCUKTA POLİSİKLİK AROMATİK HİDROKARBON OLUŞUMUNA ETKİLERİ

Mine KIRKYOL

Danışman: Doç. Dr. Ahmet AKKÖSE

Amaç: Araştırmada ısıtıl işlem görmüş sucukta yağ oranı, pişirme yöntemi ve pişirme seviyesinin polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) oluşumu üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca örneklerde fizikokimyasal analizler gerçekleştirilerek ürün özellikleri belirlenmiştir.

Yöntem: Üç farklı yağ oranı (%10, %20 ve %30) kullanılarak sığır etinden ısıtıl işlem görmüş sucuk üretimi gerçekleştirilmiştir. Isıl işlem görmüş sucuklar iki farklı pişirme yöntemi (ısıtıcı plaka ve mangal) ile farklı pişirme seviyeleri (çiğ, az, orta, çok) uygulanarak pişirilmiş ve fizikokimyasal analizler (pH, nem, yağ, nem ve yağ tutma, pişirme verimi) ile PAH analizine tabi tutulmuştur.

Bulgular: Isıl işlem görmüş sucuğun pH değeri pişirme seviyesine bağlı olarak artmıştır. Nem içeriği, pişirme yöntemi, yağ oranı ve pişirme seviyesinden önemli seviyede etkilenmiştir. Nem içeriği, yağ oranı ve pişirme seviyesi arttıkça azalmış, yağ içeriği ise pişirme seviyesi arttıkça azalmıştır. Yağ oranı, pişirme yöntemi ve pişirme seviyesi, nem tutma, yağ tutma ve pişirme verimini önemli ölçüde etkilemiştir. Isıl işlem görmüş sucukta benzo[a]piren (BaP) ve toplam PAH4 içerikleri, kullanılan yağ oranı ve pişirme seviyesine bağlı olarak artış göstermiştir. Bununla birlikte mangalda pişirme daha yüksek BaP ve PAH4 oluşumuna neden olmuştur. Benzer durum, toplam PAH8 ve PAH16 içerikleri için tespit edilmiştir.

Sonuç: Isıl işlem görmüş sucuğun mangalda pişirilmesi durumunda pişirme seviyesindeki artışın PAH açısından risk oluşturduğu, daha düşük pişirme seviyelerinde ısıtıcı plakada pişirme işleminin bu riski azaltabileceği, üretimde kullanılan yağ oranının PAH oluşumu açısından önemli bir faktör olduğu ve yağ oranı yüksek ürünlerin PAH açısından risk oluşturabileceği kanaatine varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Isıl işlem görmüş sucuk, PAH, yağ oranı, pişirme yöntemi, pişirme seviyesi, BaP

Nisan 2024, 103 sayfa

ABSTRACT

DOCTORAL DISSERTATION

EFFECTS OF FAT RATIO AND COOKING METHOD ON THE FORMATION OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN HEAT-TREATED SUCUK

Mine KIRKYOL

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet AKKÖSE

Purpose: The research aimed to determine the effects of fat content, cooking method, and cooking level on polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) formation in heat-treated sucuk. In addition, product properties were determined by performing physicochemical analyses on the samples.

Method: Heat-treated sucuk was produced from beef using three different fat ratios (10%, 20% and 30%). Heat-treated sucuk were cooked using two different cooking methods (hot plate and barbecue) and different cooking levels (raw, low, medium, high) and subjected to physicochemical analyses (pH, moisture, fat, moisture retention, fat retention, and cooking yield) and PAH analysis.

Findings: The pH value of heat-treated sucuk increased depending on the cooking level. Moisture content was significantly affected by the cooking method, fat ratio, and cooking level. Moisture content decreased as the fat content and cooking level increased, and fat content decreased as the cooking level increased. Fat ratio, cooking method, and cooking level significantly affected moisture retention, fat retention, and cooking yield. Benzo[a]pyrene (BaP) and total PAH₄ contents in heat-treated sucuk increased depending on the fat ratio and cooking level used. However, barbecuing caused higher BaP and PAH₄ formation. Similar situations were determined for total PAH₈ and PAH₁₆ contents.

Results: It was concluded that if heat-treated sucuk is barbecued, an increase in the cooking level poses a risk for PAH, that cooking on a hot plate at lower cooking levels can reduce this risk, that the fat ratio used in production is an important factor in terms of PAH formation, and that products with a high-fat content may pose a risk for PAH.

Keywords: Heat-treated sucuk, PAH, fat ratio, cooking method, cooking level, BaP

April 2024, 103 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
KISALTMALAR ve SİMGELER DİZİNİ	xii
GİRİŞ.....	1
KURAMSAL TEMELLER.....	8
MATERYAL VE METOT.....	14
Materyal	14
Metot	14
Isıl işlem görmüş sucuk üretimi	14
Pişirme işlemi.....	15
pH.....	17
Nem tayini	17
Yağ tayini	17
Nem ve yağ tutma	17
Pişirme verimi	17
Polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAHs)	18
İstatiksel analiz.....	18
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	19
pH.....	19
Nem İçeriği.....	22
Yağ Miktarı	26
Nem Tutma.....	30
Yağ Tutma.....	35
Pişirme Verimi	40
PAH Analizi Sonuçları.....	45
PAH4.....	45

PAH8.....	55
PAH16.....	64
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR.....	79
ÖZGEÇMİŞ.....	88



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Öncelikli Kirletici Olarak Değerlendirilen PAH'lar	3
Tablo 2. Öncelikli Kirleticiler Olarak Verilen 16 farklı PAH Bileşiğine ait Konfigürasyon Yapıları.....	4
Tablo 3. Öncelikli Kirleticiler Olarak Tanımlanan 16 PAH Bileşiğinin Molekül Ağırlıkları ve Sınıflandırılması	5
Tablo 4. Deneme Deseni.....	16
Tablo 5. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen pH Değerleri.....	20
Tablo 6. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen pH Değerlerinin Varyans Analizi Sonuçları.....	21
Tablo 7. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen Ortalama pH Değerleri ile Pişirme Seviyesine Ait Ortalamaların Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları	21
Tablo 8. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen Nem İçerikleri	23
Tablo 9. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen Nem İçeriklerinin Varyans Analizi Sonuçları	24
Tablo 10. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen Nem İçeriklerine Ait Ortalamalar ile Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları.....	25
Tablo 11. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen Yağ Miktarları.....	27
Tablo 12. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen Yağ Miktarlarının Varyans Analizi Sonuçları	28
Tablo 13. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen Yağ Miktarlarına Ait Ortalamalar ile Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları.....	29
Tablo 14. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen Nem Tutma Değerleri	31
Tablo 15. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen Nem Tutma Değerlerinin Varyans Analizi Sonuçları.....	32
Tablo 16. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen Nem Tutma Değerlerine Ait Ortalamalar ile Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları.....	33
Tablo 17. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen Yağ Tutma Değerleri	35
Tablo 18. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen Yağ Tutma Değerlerinin Varyans Analizi Sonuçları.....	36
Tablo 19. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen Yağ Tutma Değerlerine Ait Ortalamalar ile Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları.....	37

Tablo 20. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen Pişirme Verimi Değerleri	41
Tablo 21. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen Pişirme Veriminin Varyans Analizi Sonuçları	42
Tablo 22. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen Pişirme Verimine Ait Ortalamalar ile Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları.....	43
Tablo 23. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen PAH4 Miktarları	46
Tablo 24. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen PAH4 Miktarlarına Ait Varyans Analizi Sonuçları.....	49
Tablo 25. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen PAH4 Miktarlarına Ait Ortalamalar ile Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları.....	51
Tablo 26. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen PAH8 Miktarları	56
Tablo 27. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen PAH8 Miktarlarının Varyans Analizi Sonuçları	59
Tablo 28. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen PAH8 Miktarlarına Ait Ortalamalar ile Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları.....	61
Tablo 29. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen PAH16 Miktarları	66
Tablo 30. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen PAH16 Miktarlarının Varyans Analizi Sonuçları.....	69
Tablo 31. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen PAH16 Miktarlarına Ait Ortalamalar ile Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları.....	72

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Üretilen ısı işlem görmüş sucuklar	15
Şekil 2. Uygulanan pişirme yöntemleri	16
Şekil 3. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen nem içeriklerine ait yağ oranı x pişirme seviyesi interaksyonu	25
Şekil 4. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen nem içeriklerine ait pişirme yöntemi x pişirme seviyesi interaksyonu	26
Şekil 5. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen yağ miktarına ait yağ oranı x pişirme seviyesi interaksyonu	30
Şekil 6. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen nem tutma değerlerine ait yağ oranı x pişirme seviyesi interaksyonu	33
Şekil 7. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen nem tutma değerlerine ait pişirme yöntemi x pişirme seviyesi interaksyonu	34
Şekil 8. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen nem tutma değerlerine ait pişirme yöntemi x pişirme seviyesi x yağ oranı interaksyonu	35
Şekil 9. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen yağ tutma değerlerine ait pişirme yöntemi x yağ oranı interaksyonu	38
Şekil 10. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen yağ tutma değerlerine ait yağ oranı x pişirme seviyesi interaksyonu	39
Şekil 11. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen yağ tutma değerlerine ait pişirme yöntemi x pişirme seviyesi interaksyonu	39
Şekil 12. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen yağ tutma değerlerine ait pişirme yöntemi x yağ oranı x pişirme seviyesi interaksyonu	40
Şekil 13. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen pişirme verimlerine ait yağ oranı x pişirme seviyesi interaksyonu	43
Şekil 14. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen pişirme verimlerine ait pişirme yöntemi x pişirme seviyesi interaksyonu	44
Şekil 15. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen pişirme verimlerine ait pişirme yöntemi x yağ oranı x pişirme seviyesi interaksyonu	45
Şekil 16. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen PAH4 miktarlarına ait pişirme yöntemi x yağ oranı interaksyonu	53

Şekil 17. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen PAH4 miktarlarına ait yağ oranı x pişirme seviyesi interaksyonu	54
Şekil 18. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen PAH4 miktarlarına ait pişirme yöntemi x pişirme seviyesi interaksyonu	55
Şekil 19. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen PAH8 miktarlarına ait yağ oranı x pişirme seviyesi interaksyonu	62
Şekil 20. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen PAH8 miktarlarına ait pişirme yöntemi x pişirme seviyesi interaksyonu	63
Şekil 21. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen PAH8 miktarlarına ait pişirme yöntemi x yağ oranı x pişirme seviyesi interaksyonu	64
Şekil 22. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen PAH16 miktarlarına ait pişirme yöntemi x yağ oranı interaksyonu	73
Şekil 23. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen PAH16 miktarlarına ait yağ oranı x pişirme seviyesi interaksyonu	74
Şekil 24. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen PAH16 miktarlarına ait pişirme yöntemi x pişirme seviyesi interaksyonu	75
Şekil 25. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen PAH16 miktarlarına ait pişirme yöntemi x yağ oranı x pişirme seviyesi interaksyonu	76

KISALTMALAR ve SİMGELER DİZİNİ

%	: Yüzde
°C	: Santigrat Derece
µg	: Mikrogram
µL	: mikrolitre
An	: Antrasen
Ane	: Asenaften
Anp	: Asenaftelen
ATSDR	: Toksik Madde ve Hastalık Kayıt Ajansı
a_w	: Su aktivitesi
BaA	: Benzo[a]antrasen
BaP	: Benzo[a]piren
BbF	: Benzo[b]floranten
BghiP	: Benzo[g,h,i]perilen
BkF	: Benzo[k]floranten
Chr	: Krisen
cm	: santimetre
DahA	: Dibenzo[a,h]antrasen
dk	: dakika
EC	: Avrupa Komisyonu
EFSA	: Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi
EPA	: Avrupa Birliği Çevre Koruma Ajansı
Flr	: Floren
Flu	: Floranten
g	: Gram
IARC	: Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı
IncdP	: Indeno[1,2,3-cd]piren
IP	: Isıtıcı plaka
kg	: Kilogram
M	: Mangal
M	: Molar
mL	: mililitre

mm	: milimetre
Np	: Naftalin
PAH	: Polisiklik Aromatik Hidrokarbon
Phe	: Fenantren
Py	: Piren
v	: hacim
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü



GİRİŞ

Yüksek biyolojik değere sahip proteinleri, B grubu vitaminleri, demir ve çinko gibi önemli mineral maddeleri içeren et, insan beslenmesinde yer alan önemli bir gıda maddesidir (Pereira and Vicente 2013; Halagarda and Wojciak 2022). Et, sahip olduğu yüksek su aktivitesi ve zengin besin içeriğinden dolayı kolay bozulabilir bir gıdadır. Bu nedenle, soğutma, dondurma, kurutma, tuzlama/kürleme, ısıtma ve fermentasyon gibi çeşitli gıda muhafaza yöntemleri uygulanarak belirli bir süre muhafaza edilmekte veya bu işlemler neticesinde ürüne dönüştürülmektedir. Fermente sosisler, et ürünleri içerisinde önemli bir yere sahip olup genellikle kuru veya yarı-kuru fermente sosisler olmak üzere iki grupta toplanmaktadır. Kuru fermente sosisler grubunda yer alan sucuk; et ve yağın, tuz, sarımsak, diğer baharatlar ve çeşitli katkı maddeleri ile karıştırıldıktan sonra doğal ve/veya yapay kılıflara doldurulup, belirli sıcaklık, bağıl nem ve hava cereyanında belirli bir sürede olgunlaştırılmasıyla elde edilen fermente bir et ürünüdür (Kaban *et al.* 2022).

Isıtma işlemi görmüş sucuk ise yüksek nem içeriğinden dolayı yarı-kuru fermente sosisler grubuna dahil diğer bir fermente sosis çeşididir. Üretimde fermentasyon, ısıtma işlemi ve kurutma olmak üzere üç ana işlem aşaması söz konusudur. Türk Gıda Kodeksi Et, Hazırlanmış Et Karışımları ve Et Ürünleri Tebliği'nde ısıtma işlemi görmüş sucuk, "Büyükbaş ve/veya küçükbaş hayvan karkas etlerinin ve yağlarının veya kanatlı hayvan karkas etleri ve yağlarının kıyılarak lezzet vericiler ile karıştırıldıktan sonra doğal veya yapay kılıflara doldurularak belirli koşullarda fermentasyon ve kurutma işlemleri uygulanarak kesit yüzeyi mozaik görünümünde olan ısıtma işlemi uygulanmış et ürünü" olarak tanımlanmaktadır. Bu tebliğde ısıtma işlemi görmüş sucukta pH değerinin en yüksek 5,6 olabileceği ve nem miktarının toplam et proteinine oranının 3,6'nın altında, yağ miktarının toplam et proteinine oranının ise 2,5'in altında olması gerektiği bildirilmektedir (Anonim 2019).

Ülkemizde, ısıtma işlemi görmüş sucuk çiğ olarak tüketilebildiği gibi genellikle pişirilmektedir. Pişirme işleminde ise yaygın olarak tavada veya mangalda kızartma yöntemleri uygulanmaktadır. Ev içi tüketimlerde genellikle tavada kızartma olarak tanımlanan kuru pişirme yöntemi uygulanmaktadır. Sucuğun pişirilmesinde kullanılan diğer bir kuru pişirme yöntemi de mangalda pişirmedir. Bunun yanı sıra restoran, kafe ve benzeri işletmelerde sucuk ısıtıcı plakalarda kuru pişirme yöntemine tabi tutularak sunulmaktadır. Bu pişirme yöntemleriyle pişirilen sucuklarda bazı kanserojenik bileşiklerin oluşumu söz konusu olabilir.

Gıdalarda kanserojenik bileşiklerden biri olan PAH oluşumu farklı pişirme prosesleri ve işleme teknikleri ile meydana gelmektedir (Rose *et al.* 2015; Singh *et al.* 2016; Zhu *et al.* 2018). Kanserojenik ve mutajenik özellik gösteren bu tip bileşiklerin önemli sağlık riskleri oluşturduğu araştırmalarla ortaya konulmuştur (Andersen *et al.* 2012; Xia *et al.* 2013; Hu *et al.* 2015). Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC), Toksik Madde ve Hastalık Kayıt Ajansı (ATSDR) ve Avrupa Birliği Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından kanserojenik ve mutajenik özelliklerinden dolayı PAH'lara öncelikli kirleticiler listesinde yer verilmektedir.

PAH'lar, hidrojen ve karbon atomlarına sahip olan, çoklu aromatik halkalardan oluşmuş lipofilik organik bileşiklerdir. Bu bileşikler kanserojenik ve mutajenik potansiyelleri ile karakterize edilen yaygın çevresel kirleticiler olup organik bileşiklerin pirolizi veya yetersiz endüstriyel yanma sonucu oluşmaktadırlar (McGrath *et al.* 2007; Bansal and Kim 2015). Yarı uçucu veya uçucu olmayan bu bileşiklerin, çevresel açıdan biyolojik olarak parçalanmadığı ve değişken yapıli toksik bileşikler olduğu bildirilmiştir (Singh *et al.* 2016). PAH'lar çevresel bir kirletici olarak dikkate alınmasının yanı sıra gıdaların üretiminde ve tüketiminde uygulanan farklı pişirme prosesleri ve ısı uygulama içeren çeşitli işleme teknikleri de bu bileşiklerin oluşumuna katkıda bulunmaktadır. Nitekim PAH maruziyetinin %2-12 oranında solunum ile gerçekleştiği, bununla birlikte özellikle sigara içmeyen popülasyonlarda diyetin %88-98 oranında PAH maruziyetine katkıda bulunduğu bildirilmektedir (Alomirah *et al.* 2011). PAH'ların maruziyetinden kaynaklanan akut toksisitenin görülmediği, genellikle PAH'ların kronik etkiler oluşturduğu ifade edilmiştir (Samarajeewa 2023). PAH'lar insanlar için potansiyel olarak genotoksik ve kanserojen olarak kabul edilmektedir. Lipofilik özellikte olan bu bileşiklerin (en yüksek lipofilik özellikte olan BaP) kanserojenik etkileri, hücreler tarafından emildikten sonra DNA dahil olmak üzere hücreli makromoleküllere kovalent olarak bağlanan ve DNA replikasyonu ve mutasyonunda hatalara neden olan, diol epoksitlere metabolik dönüşümleri ile başlamaktadır (Phillips and Grover 1994; Farhadian *et al.* 2010; Cavalieri and Rogan 2014; Samarajeewa 2023).

IARC tarafından 16 PAH bileşiği öncelikli kirleticiler olarak değerlendirilmiştir (Tablo 1). Ayrıca Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) tarafından dört polisiklik aromatik hidrokarbonun [PAH4: benzo[*a*]piren (BaP), benzo[*a*]antrasen (BaA), benzo[*b*]floranten (BbF) ve krisen (Chr)] gıdalardaki PAH oluşumu ve toksisitesi için uygun göstergeler olarak kullanılabileceği bildirilmektedir (Afe *et al.* 2020). Bunlar arasında BaP, IARC tarafından 1. grupta (insanlar için kanserojen), diğer üçü ise 2B grubunda (insanlar için muhtemelen kanserojen) sınıflandırılmıştır. Bununla birlikte, EFSA tarafından bu dört PAH'a ilaveten farklı dört polisiklik aromatik hidrokarbonun da [PAH8: PAH4 + benzo[*k*]floranten (BkF),

benzo[*g,h,i*]perilen (BghiP), dibenzo[*a,h*]antrasen (DahA) ve Indeno[*1,2,3-cd*]piren (IncdP)] gıdalardaki PAH oluşumu ve toksisitesi için dikkate alınabileceği bildirilmiştir (Bansal and Kim 2015). Bunlar arasından DahA, IARC sınıflandırmasına göre 2A grubunda yer alırken (olası kanserojen), BkF ve IncdP 2B grubunda (muhtemel kanserojen), BghiP ise 3. grupta (sınıflandırılmamış) yer almaktadır (WHO/IARC 2012).

Tablo 1. Öncelikli Kirletici Olarak Değerlendirilen PAH’lar (Singh *et al.* 2016)

Sıra	PAH	Kısaltma	Genotoksosite	IARC sınıflandırması*
1	Asenaften	Ane	Şüpheli	Henüz değerlendirilmemiş
2	Asenaftelen	Anp	Şüpheli	Henüz değerlendirilmemiş
3	Fenantren	Phe	Şüpheli	3
4	Piren	Py	Şüpheli	3
5	Antrasen	An	Negatif	3
6	Floren	Flr	Negatif	3
7	Benzo[<i>g,h,i</i>]perilen	BghiP	Pozitif	3
8	Floranten	Flu	Pozitif	3
9	Benzo[<i>a</i>]antrasen	BaA	Pozitif	2B
10	Benzo[<i>b</i>]floranten	BbF	Pozitif	2B
11	Benzo[<i>k</i>]floranten	BkF	Pozitif	2B
12	Krisen	Chr	Pozitif	2B
13	Indeno[<i>1,2,3-cd</i>]piren	IncdP	Pozitif	2B
14	Naftalin	Np	Pozitif	2B
15	Dibenzo[<i>a,h</i>]antrasen	DahA	Pozitif	2A
16	Benzo[<i>a</i>]piren	BaP	Pozitif	1

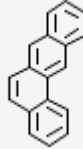
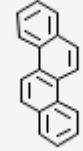
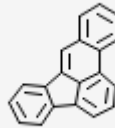
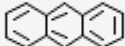
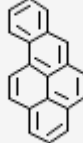
* 1: Kanserogen, 2A: Olası kanserojen, 2B: Muhtemel Kanserogen, 3: Sınıflandırılmamış

PAH’lar iki veya daha fazla benzen halkası içeren ve farklı konfigürasyon yapılarına sahip olan organik bileşiklerdir. Öncelikli kirleticiler olarak verilen 16 PAH bileşiğine ait konfigürasyon yapısı Tablo 2’de verilmiştir. Benzen halkalarının konfigürasyonundaki farklılıklara bağlı olarak PAH’ların özelliklerinin değişebildiği gibi farklı biyokimyasal reaksiyonlara girebildikleri de bildirilmektedir (Huang and Penning 2014; Samarajeewa 2023). Ayrıca bileşiklerdeki halkaların sayısının toksisite düzeyiyle pozitif ilişkili olduğu bildirilmiştir (Singh *et al.* 2016). Dört veya daha az benzen halkalı olan PAH’lar hafif, dörtten fazla halka içerenler ise ağır PAH’lar olarak tanımlanmaktadır (Bansal and Kim 2015; Singh *et al.* 2016; Sun *et al.* 2019). Bu kapsamda Tablo 3’te verildiği gibi öncelikli kirleticiler olarak tanımlanan 16 PAH bileşiğinden Np, Ane, Anp, Flr, Phe ve An iki ile üç halkadan oluştukları için hafif; Flu, Py, BaA, Chr, BbF, BkF, BaP, IncdP, DahA ve BghiP ise dört veya daha fazla halkadan oluştukları için ağır PAH’lar olarak adlandırılmaktadır (Hamidi *et al.* 2016). Hafif PAH’ların

daha uçucu olmalarından dolayı düşük toksisiteye sahip oldukları, ağır PAH'ların ise daha stabil olmaları nedeniyle daha yüksek toksisiteye sahip oldukları ifade edilmektedir (Plaza-Bolanos *et al.* 2010).

PAH'lar saf haldeyken oda sıcaklığında düşük uçuculuğa sahip, görünümleri renksizden beyaza veya soluk sarı-yeşile kadar değişen ve suda nispeten çözünmeyen katılardır (Huang and Penning, 2014). PAH'ların molekül ağırlıklarına göre düşük, orta ve yüksek molekül ağırlıklı olarak sınıflandırılması da söz konusudur (Tablo 3). Bu sınıflandırmaya göre düşük molekül ağırlıklı PAH'lar, Np gibi iki halkalı veya Phe gibi üç halkalı olan ve 128-178 g/mol arasında molekül ağırlığına sahip olanlardır. Orta molekül ağırlıklı PAH'lar ise dört halkalı olup molekül ağırlığı 202,25 g/mol olanlardır ve bu grup Flu ile Py'yi içermektedir. BaP, DahA ve IncdP gibi genellikle beş ila yedi halka içeren ve ağırlıkları 228-278 g/mol arasında değişen son grup ise yüksek molekül ağırlıklı PAH'lar olarak ifade edilmektedir (ATSDR 1995; Palm *et al.* 2011).

Tablo 2. Öncelikli Kirleticiler Olarak Verilen 16 farklı PAH Bileşiğine ait Konfigürasyon Yapıları (Anonymous, 2024)

PAH Bileşiği	Konfigürasyon yapısı	PAH Bileşiği	Konfigürasyon yapısı
Np		BaA	
Ane		Chr	
Anp		BbF	
An		BaP	

Tablo 2. (devamı)

Flr		BkF	
Phe		DahA	
Py		BghiP	
Flu		IncdP	

Tablo 3. Öncelikli Kirleticiler Olarak Tanımlanan 16 PAH Bileşiğinin Molekül Ağırlıkları ve Sınıflandırılması (Anonymous, 2024)

PAH	Molekül Formülü	Molekül Ağırlığı (g/mol)	Molekül Ağırlığına göre	Halka Sayısına göre
Np	C ₁₀ H ₈	128,169	Düşük	Hafif
Anp	C ₁₂ H ₈	152,19	Düşük	Hafif
Ane	C ₁₂ H ₁₀	154,21	Düşük	Hafif
Flr	C ₁₃ H ₁₀	166,22	Düşük	Hafif
An	C ₁₄ H ₁₀	178,23	Düşük	Hafif
Phe	C ₁₄ H ₁₀	178,23	Düşük	Hafif
Py	C ₁₆ H ₁₀	202,25	Orta	Ağır
Flu	C ₁₆ H ₁₀	202,25	Orta	Ağır
BaA	C ₁₈ H ₁₂	228,3	Yüksek	Ağır
Chr	C ₁₈ H ₁₂	228,3	Yüksek	Ağır
BbF	C ₂₀ H ₁₂	252,3	Yüksek	Ağır
BaP	C ₂₀ H ₁₂	252,3	Yüksek	Ağır
BkF	C ₂₀ H ₁₂	252,3	Yüksek	Ağır
BghiP	C ₂₂ H ₁₂	276,3	Yüksek	Ağır
IncdP	C ₂₂ H ₁₂	276,3	Yüksek	Ağır
DahA	C ₂₂ H ₁₄	278,3	Yüksek	Ağır

Gıdalar, bazı işleme ve pişirme teknikleri kullanılarak tüketime hazır bir ürün haline getirilmektedir. Bu son ürün elde edilirken gıdaların organik bileşikleri piroliz olabilmekte ve PAH'lar gibi bazı kanserojenik ve mutajenik bileşikler meydana gelebilmektedir. Bu bağlamda et ve et ürünlerinin üretimi veya pişirilmesi sırasında yağ, protein ve karbonhidratlar gibi organik bileşikler pirolize olmaktadır. Ayrıca bu ürünlerin pişirilmesinde uygulanan yüksek sıcaklık PAH oluşumunda önemli bir faktör olarak dikkat çekmektedir. Gıdalarda PAH oluşumunda üç olası mekanizma söz konusudur (Alomirah *et al.* 2011). Bunlardan ilki yağ, karbonhidrat ve proteinler gibi organik maddelerin 200°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda pirolizi sonucu PAH'ların meydana gelmesidir. Bu organik bileşikler arasında özellikle yağların pirolizinin PAH oluşumunda daha etkili olduğu da bildirilmektedir (Bartle 1991). Yapılan bazı çalışmalarda et ve et ürünlerindeki yüksek yağ içeriğinin PAH oluşumuna katkıda bulunabileceği ifade edilmiştir (Gorji *et al.* 2016; Haiba *et al.* 2019). PAH oluşumunda olası ikinci mekanizma, pişirme esnasında gıdadan ayrılarak pişirme işleminde kullanılan yakıt üzerine damlayan yağların alevle teması sonucu oluşan PAH'ların yükselen dumanla ürün yüzeyinde birikmesidir. Nitekim yüksek yağ içeriğine sahip et ve et ürünlerinin pişirilmesinde ısı kaynağı üzerine damlayan lipidlerin yakıt ile doğrudan teması sonucu oluşan dumanın uçucu PAH'ların kaynağı olduğu bildirilmiştir (Chung *et al.* 2011; Huang and Penning 2014; Lee *et al.* 2016). Bu olası iki mekanizma et ürünlerindeki yağ içeriğinin pişirme esnasındaki PAH oluşumu açısından önemli bir parametre olduğunu göstermektedir. Sonuncu mekanizma ise pişirme işleminde kullanılan yakıtın yetersiz yanması sonucu PAH oluşumuna sebebiyet vermesidir (Alomirah *et al.* 2011). Böylece gıdalar yetersiz yanma sonucu oluşan dumandan kaynaklı olarak PAH'larla kontamine olabilmektedir (Farhadian *et al.* 2011; Bansal and Kim 2015).

Avrupa Komisyonu (EC) tarafından 04.02.2005 tarihinde yayınlanan yönetmelikte gıdaların PAH içeriğinde belirleyici faktör olarak görülen BaP için et ürünlerinde izin verilen maksimum konsantrasyon 5µg/kg olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte komisyon tarafından 19.08.2011 tarihinde yapılan düzenlemede gıdalarda BaP'ın tek başına PAH oluşumu için uygun bir belirteç olmadığı ifade edilmiş, dörtlük (PAH4) ve sekizlik (PAH8) spesifik sistemin gıdadaki PAH'ın belirlenmesinde uygun olacağı bildirilmiştir. Bu bağlamda gıda ürünlerinde izin verilen maksimum PAH4 miktarı 30µg/kg ile sınırlandırılmıştır. Bahsi geçen bu yönetmelikte ısıtıl işlem görmüş et ürünleri ve direkt tüketime sunulan et ürünleri için maksimum izin verilen miktarlar BaP için 5µg/kg, PAH4 için ise 30µg/kg olarak ifade edilmiştir (EC 2011). 2023 yılında yenilenen Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği'nde son tüketiciye arz edilen ısıtıl işlem görmüş et ve et ürünlerinde izin verilen maksimum değerlerin de EC tarafından sınırlandırılan miktarlarla aynı olduğu görülmektedir (Anonim, 2023).

Et ürünleri diyetin vazgeçilmez bir parçasıdır. Et ve et ürünlerinin işlenmesi ve pişirilmesi sırasında PAH'ların oluşumu ve beslenme neticesindeki maruziyete bağlı sağlık riskleri ülkemizde olduğu gibi dünyada da sık sık gündeme gelen bir konudur. Kanserojenik ve mutajenik özellik gösteren bu bileşiklerin önemli sağlık riskleri oluşturması gıdalarda PAH'ların oluşumuna yönelik çalışmaların sayısında artışa neden olmuştur. Et ve et ürünlerinde de PAH oluşumuna yönelik araştırmalar özellikle son yıllarda önemli derecede artış göstermiştir. PAH oluşumunun yağ içeriği, pişirme yöntemi (kızartma, ızgara, kavurma, kaynatma vb.), pişirme sıcaklığı ve süresi, ısı kaynağı türü (elektrik, gaz, odun ve odun kömürü), ısı kaynağına olan mesafe ve ısı kaynağıyla temasın türü (doğrudan veya dolaylı) gibi pek çok faktör etkili olduğu farklı çalışmalarla ortaya konulmuştur. Bu kapsamda et, balık ve tavuk örneklerinde farklı pişirme tekniklerinin ve bu tekniklerde uygulanan işlem şartlarının PAH oluşumu üzerine etkilerinin ortaya konulduğu araştırmalar yapılmıştır (Chen and Lin 1997; Alomirah *et al.* 2011; Chung *et al.* 2011; Viegas *et al.* 2012; Aaslyng *et al.* 2013; Duedahl-Olesen *et al.* 2015; Rose *et al.* 2015; Gorji *et al.* 2016; Lee *et al.* 2016; Jiang *et al.* 2018; Lee *et al.* 2020; Wang *et al.* 2021; Hamidi *et al.* 2022; Sharifiarab *et al.* 2023). Ancak ısıl işlem görmüş sucukta PAH oluşumu henüz incelenmemiş bir konudur.

Isıl işlem görmüş sucuk tüketiminin güvenli bir hale getirilmesi halk sağlığı açısından büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen pişirme işlemleri ve seviyelerinin ısıl işlem görmüş sucukta PAH oluşumuna etkilerinin belirlenmesi önemli bir husustur. Diğer önemli bir husus ise sucuktaki yağ oranına bağlı olarak PAH miktarındaki değişimlerin belirlenmesidir. Mevcut bu tez çalışmasında ısıl işlem görmüş sucukta farklı yağ oranları (%10, %20 ve %30), pişirme yöntemleri (ısıtıcı plaka ve mangal) ve pişirme seviyelerinin (çiğ, az pişmiş, orta pişmiş ve çok pişmiş) PAH oluşumu üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

KURAMSAL TEMELLER

Et ve et ürünlerinin tüketimi insanlarda PAH alımının en yaygın yollarından biri olarak gösterilmektedir (Alomirah *et al.* 2011; Bansal and Kim 2015). Et ürünlerine PAH'ların kontaminasyonu genellikle ısıya maruz kaldıklarında organik maddelerin pirolizi veya kullanılan yakıtların eksik yanması nedeniyle gerçekleşmektedir. Birçok çalışmada tüksüleme (Ledesma *et al.* 2016; Pan *et al.* 2017; Mastanjevic *et al.* 2019), ızgara yapma (Lee *et al.* 2016; El Hussein *et al.* 2018), mangalda pişirme (Aaslyng *et al.* 2013; Öz and Yuzer 2016), kızartma (Janoszka 2011; Lee *et al.* 2020) ve kavurma (Chung *et al.* 2011; Wik and Tkacz 2017) gibi uygulamaların et ve et ürünlerinde PAH oluşumuna yol açabildiği bildirilmiştir. Pişirilmiş etlerin PAH konsantrasyonu pişirme yönteminin yanı sıra etin türü, yağ içeriği, pişirme sıcaklığı ve süresi, ısı kaynağı türü, ısı kaynağına olan mesafe, ısı kaynağı ile temas türü gibi faktörlerden de etkilenebilmektedir (Alomirah *et al.* 2011; Duedahl-Olesen *et al.* 2015; Gorji *et al.* 2016). Bu kapsamda Aaslyng *et al.* (2013) tarafından yapılan bir çalışmada mangalda pişirilen domuz, sığır ve tavuk etlerindeki PAH içeriği tespit edilmiş ve sığır etinde domuz eti ve tavuğa kıyasla daha yüksek PAH konsantrasyonu belirlenmiştir. Choi *et al.* (2022) ise ızgara yöntemi ile pişirilen sığır etinde BaP konsantrasyonunu 0,42 µg/kg olarak, toplam PAH8 konsantrasyonunu ise 3,80 µg/kg olarak tespit etmişlerdir. Bir başka çalışmada çeşitli et, tavuk ve balık ürünlerinde PAH seviyeleri belirlenmiş, en yüksek PAH16 miktarının tüksülenmiş balık örneklerinde, en düşük miktarın ise tavuk etinden yapılan bir kebab türünde olduğu bulunmuştur. Ayrıca PAH4 değerleri için en yüksek miktar tuna balığında, en düşük miktar ise ızgara edilen tavuk etinde belirlenmiştir. Araştırma kapsamında hem PAH4 hem de BaP değerleri için belirlenen miktarların Avrupa Birliği (EU) tarafından verilen standartların altında olduğu bildirilmiştir (Khalili *et al.* 2023).

Et ve et ürünlerinde PAH konsantrasyonu üzerinde etkili olan faktörlerden bir diğeri yağ içeriğidir. Pişirme sırasında ürünlerdeki yağın pirolizi veya ısı kaynağı üzerine damlaması sonucu PAH'ların oluşması nedeniyle yağ miktarının oluşan PAH seviyesi üzerinde doğrudan etkili olabileceğini söylemek mümkündür. Bu bağlamda farklı et ürünlerinde yağ içeriğinin etkisinin incelendiği çalışmalar mevcuttur. Yapılan bir araştırmada farklı yağ içerikleri, kılıf tipleri ve tüksüleme prosedürlerinin Portekiz geleneksel kuru fermente sosisi üretiminde PAH oluşumu üzerine etkisi incelenmiştir. Araştırmada yüksek yağ içeriğine sahip doğrudan tüksüleme işlemiyle üretilen domuz bağırsak kılıfı kaplı örneklerde önemli ölçüde daha yüksek PAH konsantrasyonu tespit edildiği bildirilmiştir. Araştırmacılar, bu etkinin lipofilik özelliğe

sahip olan PAH'ların iç katmanlara migrasyon olasılığını artıran daha yüksek yağ içeriğinden kaynaklanabileceğini ifade etmişlerdir (Gomes *et al.* 2013).

Pöhlmann *et al.* (2013) yaptıkları çalışmada tütülenmiş Frankfurter tipi sosislerde farklı yağ oranları ve kılıf tiplerinin PAH oluşumuna etkisini araştırmışlardır. Sosisler dört farklı yağ oranıyla (%10, %20, %30 ve %39) üretilmiş ve BaP içeriği ile toplam PAH4 ve PAH16 içerikleri belirlenmiştir. Frankfurter tipi sosislerde farklı yağ oranlarının kullanılması farklı PAH içeriklerinin belirlenmesiyle sonuçlanmış ve yağ oranının %20'den %10'a düşürülmesiyle PAH içeriğinde önemli oranda bir azalma olduğu bildirilmiştir. Babaoğlu *et al.* (2017) ise yaptıkları bir çalışmada çeşitli hayvansal yağlar ilave edilerek sığır ve kuzu ince bağırsaklarından üretilen kokoreçlerin pişirilmesi esnasında oluşan PAH8 konsantrasyonlarını belirlemişlerdir. Araştırmada, örneklerdeki toplam PAH8 konsantrasyonunun 3,07-40,11 µg/kg arasında değiştiği, PAH4 ve PAH8 konsantrasyonları için en yüksek değerin kuyruk yağlı sığır kokoreçte, en düşük değerin ise kuyruk yağlı kuzu kokoreçte belirlendiği bildirilmiştir.

Karslıoğlu and Kolsarıcı (2023) yaptıkları bir araştırmada, sığır etinden yapılan dönerlerde farklı yağ oranları ve pişirme işlemlerinin PAH içeriğine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada farklı pişirme yöntemleri (gaz, kömür veya elektrik) ve pişirme seviyelerinde (iyi ve orta) pişirilmiş düşük ve yüksek yağlı dönerlerin toplam PAH16 içeriği tespit edilmiştir. Yüksek yağlı döner örneklerinde az yağlı olanlara kıyasla daha yüksek toplam PAH içeriklerinin bulunduğu ifade edilmiştir. Ayrıca hem az hem de yüksek yağlı döner numunelerinde en yüksek PAH konsantrasyonlarının kömürde pişirilen örneklerde kaydedildiği, en düşük PAH konsantrasyonunun ise elektrikli pişirme yönteminin kullanıldığı örneklerde olduğu bildirilmiştir.

Gıdalarda PAH oluşumu üzerine farklı pişirme yöntemlerinin de etkili olduğu; kurutma, tütüleme, fırınlama, kavurma, ızgara, kızartma vb. gibi birçok ısıtma işleminin PAH oluşumuna önemli ölçüde katkıda bulunduğu ifade edilmektedir (Orecchio *et al.* 2009; Ledesma *et al.* 2014). Bu pişirme yöntemlerinin tümünde pişirme sıcaklığına ve işlem şartlarına bağlı olarak farklı seviyelerde PAH'ların oluşabileceğini söylemek mümkündür. Et ve ürünlerinin pişirilmesinde birçok pişirme yönteminden yararlanılabilmektedir. Ancak ülkemizde genel olarak et ve et ürünleri sıklıkla mangalda pişirme, ızgara yapma, kavurma ve kızartma yapılarak tüketilmektedir.

Literatürde farklı yöntemler kullanılarak pişirilen et ürünlerinde PAH konsantrasyonlarının belirlendiği birçok çalışma bulunmaktadır. Örneğin, Larsson *et al.* (1983) tarafından yapılan bir çalışmada farklı yöntemlerle pişirilmiş et ve et ürünlerinde 22 farklı PAH bileşiği belirlenmiş ve PAH seviyelerinin pişirme yöntemi ve ısı kaynağının tipinden etkilendiği

ifade edilmiştir. Çalışmada odun ateşinde ızgara yapılan sosislerin PAH seviyesi daha yüksek belirlenmişken, köz üzerinde ızgara yapılmış olan sosislerde daha düşük seviyede olduğu tespit edilmiştir. Başka bir araştırmada Avrupa piyasasından toplanan çiğ ve işlenmiş et ile balık ürünlerinde PAH düzeyleri belirlenmiş ve çiğ örneklerle kıyaslandığında kavurulan ve ızgara edilen et ve balıkların PAH miktarlarının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Rascon *et al.* 2019).

Lee *et al.* (2016) yaptıkları bir çalışmada sığır ve domuz etlerinin kömür üzerinde farklı şekilde ızgara edilmesinin PAH seviyesine etkisini incelemişlerdir. Araştırmada, geleneksel, damlamanın azaltıldığı ve dumanın azaltıldığı 3 farklı ızgara pişirme yöntemi kullanılmıştır. PAH4 miktarının domuz ve sığır etlerinde geleneksel ızgara işlemine göre damlama engellendiğinde %48-89 oranında ve dumanın azaltılmasıyla da %41-74 oranında azaltıldığı bildirilmiştir. Bir başka çalışma da ise bazı marinasyon ve pişirme yöntemlerinin sığır etinde PAH oluşumuna etkileri incelenmiştir. PAH seviyelerinin, pişirme yönteminden büyük ölçüde etkilendiği ve sığır etinin tavada pişirilmesinin mangalda pişirmeye göre daha düşük BaP ve PAH4 seviyelerine neden olduğu bildirilmiştir. Araştırmada, tavada pişirme işleminin, insanın beslenme ile PAH'lara maruz kalması açısından mangalda pişirme işleminden daha güvenli bir yöntem olduğu ifade edilmiştir (Büyükkurt *et al.* 2020).

Chung *et al.* (2011) yaptıkları bir araştırmada sığır ve domuz etlerinin mangalda veya fırında pişirmesinin PAH oluşumuna etkisini incelemişlerdir. PAH seviyelerinin pişirme yöntemine ve kullanılan ısı kaynağının türüne bağlı olduğu bildirilmiştir. PAH seviyesinin kömür ile mangalda pişirilen domuz eti örneklerinde ortalama 10,2 µg/kg olduğu, sığır etinde ise ortalama 0,80 µg/kg'ı geçmediği belirlenmiştir. Ayrıca mangalda pişirilen domuz etinde 3,0 µg/kg BaP içeriği tespit edilmişken, mangalda pişirilen sığır eti örneklerinde ortalama BaP seviyesi 0,15 µg/kg olarak bulunmuştur. Duedahl-Olesen *et al.* (2015) ise Danimarka'da beslenme ile maruz kalınan PAH4 ve BaP konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla hem ev tipi hem de ticari olarak pişirilen etlerde PAH seviyelerini tespit etmişlerdir. Bu kapsamda sığır, domuz, tavuk, kuzu ve somon etlerinden oluşan toplam 203 adet ticari olarak mangalda pişirilen ve 30 adet ev tipi mangalda pişirilen et örnekleri incelenmiştir. Araştırmada, elektrik ve gazla mangalda pişirilen örneklerle karşılaştırıldığında, kömürde ve alevde mangalda pişirilen örneklerin toplam PAH4 konsantrasyonunun önemli ölçüde yüksek olduğu belirtilmiştir.

Ghorbani *et al.* (2020) tarafından yapılan sistematik bir incelemede, pişmiş ette PAH'ların oluşumunda gaz ve kömür alevlerinin etkisi karşılaştırılmıştır. Açık alevde gaz ve odun kömürü kullanılarak pişirilmiş etlerdeki PAH miktarlarının belirlendiği çalışmaları içeren bu incelemede, kömürde pişirmenin gazda pişirmeye göre önemli seviyede daha yüksek PAH

konsantrasyonlarına neden olduğu bildirilmiştir. Bu durumun ise kömürün gaza kıyasla eksik yanmasından kaynaklı olabileceği belirtilmiştir. Ayrıca etin pişirilmesi esnasında kömür üzerine yağın damlamasıyla piroliz sonucu oluşan dumanın da PAH oluşumuna neden olduğu ifade edilmiştir. Araştırma sonunda, pişirme işlemlerinde ısı kaynağı olarak açık kömür alevinden kaçınmak gerektiği ve aynı zamanda ateşe yağın damlamasını engelleyecek önlemlerin alınmasının uygun olacağı belirtilmiştir.

Viegas *et al.* (2012) yaptıkları bir çalışmada mangalda pişirilen et, balık ve tavuk örneklerinde PAH'ların oluşumuna ızgara koşullarının ve kömür tipinin etkisini incelemişlerdir. Araştırmada, 200°C'de odun veya hindistan cevizi kabuğu kullanılarak mangalda pişirilmiş et ve balık örneklerinin PAH içerikleri tespit edilmiştir. Aynı tip kömür kullanılsa bile sığır ve somon örnekleri için PAH konsantrasyonlarının farklılık gösterdiği, ancak sığır örnekleri için kullanılan kömür tipinin önemli olmadığı bildirilmiştir. En yüksek PAH miktarı somon örneklerinde belirlenmişken, sırasıyla tavuk ve sığır etlerinde daha düşük miktarlar tespit edilmiştir. Farklı kömür tipi kullanılarak mangalda pişirilen sığır eti ve köftelerinde PAH içeriklerinin belirlendiği bir başka çalışmada, yedi farklı odun kömürü kullanılmış ve en yüksek PAH16 miktarının kayın ağacından elde edilen kömürle pişirilen köfte örneklerinde belirlendiği bildirilmiştir. Araştırma sonunda, sığır eti ve köftesinin kömürde pişirilmesi sırasında yüksek PAH düzeylerinin oluşmasını önlemek için ekstrüde kömür ve fındık kabuğu kömürü kullanımından kaçınılması gerektiği ve az yağlı et ürünlerinin tercih edilmesinin uygun olacağı ifade edilmiştir (Babaoğlu 2023).

Tahran restoranlarında hazırlanan ızgara etin tehlike potansiyelini değerlendirmek ve kebaplardaki PAH konsantrasyonlarına kullanılan yakıt ve et türlerinin etkilerini belirlemek amacıyla yapılan bir araştırmada, sığır eti ve kıyması ile tavuk eti ve kanadı kullanarak yapılan dört farklı kebapta iki farklı pişirme gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan kebapların toplam yağ içeriği farklılık göstermiş ve en yüksek yağ içeriği tavuk kanadında tespit edilmiş, en yüksek PAH konsantrasyonu da kömürde pişirilen tavuk kanadı ile yapılan kebab türünde rapor edilmiştir. Araştırmacılar kömürde ve gazla pişirilen numuneler ile farklı et türleri arasında PAH konsantrasyonlarındaki farklılıkların önemli olduğunu ifade etmişlerdir (Gorji *et al.* 2016). El Husseini *et al.* (2021) tarafından yapılan bir çalışmada ise farklı pişirme yöntemlerinin PAH4 oluşumuna etkisi belirlenmiştir. Araştırmada farklı restoranlardan ve evlerden toplanan çeşitli örneklerde BaA, Chr, BbF ve BaP ile toplam PAH4 içeriği tespit edilmiştir. Elde edilen verilerden PAH düzeyleri ile yağ içeriği ve yüzey/kütle oranı arasında yüksek bir korelasyon olduğu gözlenmiştir. Başka bir çalışmada da kömür veya gaz ateşinde pişirilen döner örneklerinde BaP konsantrasyonları belirlenmiş ve kömür ateşinde pişirilen

örneklerde ortalama BaP miktarı 24,2 µg/kg olarak, gaz ateşinde pişirilen örneklerde ise 5,7 µg/kg olarak bulunmuştur (Terzi *et al.* 2008).

Piştirme işlemlerinin yanı sıra tütüleme işlemi de et ürünlerinde PAH oluşumu veya kontaminasyonu açısından dikkate alınmalıdır. Tütüleme işlemi, anti-mikrobiyal bileşenlerin etkisiyle gıdaların korunmasında uygulanan en eski işleme yöntemlerinden biri olup, fermente sosisler gibi kendine özgü duysal özellikler elde edilmek istenilen ürünlerde hala yaygın olarak kullanılmaktadır (Santos *et al.* 2011). Ancak, tütüleme işlemi sırasında kullanılan ısı kaynağının eksik yanmasının, önemli miktarlarda PAH oluşmasına neden olabildiği ifade edilmiştir (Simko 2002; Ledesma *et al.* 2016). Tütülenmiş et ve balık ürünlerinde PAH konsantrasyonunun araştırıldığı çalışmalar bulunmaktadır (Wretling *et al.* 2010; Roseiro *et al.* 2011; Santos *et al.* 2011; Roseiro *et al.* 2012; Skaljac *et al.* 2014; Semanova *et al.* 2016; Babic *et al.* 2018; Hokkanen *et al.* 2018; Rozentale *et al.* 2018; Skaljac *et al.* 2018; Puljic *et al.* 2019; Babic *et al.* 2020; Kafouris *et al.* 2020; Omoruyi *et al.* 2020). Bu çalışmalardan bazıları tütülenmiş kuru fermente sosislerde (Bartkiene *et al.* 2017; Skaljac *et al.* 2018; Mastanjevic *et al.* 2019; Mastanjevic *et al.* 2020; Skaljac *et al.* 2022; 2023) gerçekleştirilmişken tütülenmiş-piştirilmiş kuru fermente bir sosis çeşidi üzerine yapılan çalışma da mevcuttur. Bu çalışmada tütüleme koşullarının PAH4 konsantrasyonu açısından önemli olduğu, ancak pişirmenin daha yüksek PAH4 konsantrasyonuna neden olduğu rapor edilmiştir (Zastrow *et al.* 2019).

PAH oluşumu açısından diğer bir önemli faktör piştirme süresi veya piştirme seviyesidir. Piştirme işleminde piştirme süresini en çok etkileyen değişkenin piştirme sıcaklığı olduğu söylenebilir. Piştirme sıcaklığı ne kadar yüksekse piştirme süresinin o kadar düşürülmesi veya sıcaklık yükseldikçe azaltılması gerektiği ifade edilmiştir (Carballo *et al.* 1995). Diğer yandan Trout *et al.* (1992) piştirilen örneklerde yağ içeriği ne kadar düşükse, belirli bir iç sıcaklığa ulaşmak için gereken sürenin de o kadar uzun olduğunu bildirmiştir. Literatürde farklı seviyelerde piştirilen örneklerde PAH düzeylerinin belirlendiği çalışmalar bulunmaktadır. Böyle bir çalışmada farklı piştirme seviyelerinde (orta ve çok) odun kömürü üzerinde ızgara edilen sığır ve tavuk etlerindeki PAH konsantrasyonları belirlenmiş ve çok piştirilmiş örneklerde orta seviyede piştirilmiş örneklere göre daha yüksek PAH konsantrasyonları tespit edilmiştir (Haiba *et al.* 2019).

Lee *et al.* (2016) yaptıkları bir araştırmada mangalda farklı sürelerde piştirilen etlerde PAH seviyesini belirlemişlerdir. Çalışmada dört farklı periyotta kömürde piştirilen örneklerde PAH4 (BaA, Chr, BbF ve BaP) seviyesi incelenmiştir. Piştirme işlemi için kömürde alevlenme başladıktan sonra 12 dk boyunca yapılan ilk piştirme işleminde ette belirlenen PAH oluşumu 23,81 µg/kg düzeyinde olup diğer üç periyottan çok daha yüksek olduğu ifade edilmiş, ancak

ikinci, üçüncü ve dördüncü periyotlarda belirlenen PAH4 konsantrasyonları arasında önemli bir farklılık görülmediği belirtilmiştir. İlk pişirme periyodunda meydana gelen yüksek PAH oluşumunun kömürün eksik yanması nedeniyle olduğu ileri sürülmüştür. Sonuçta, kömürde ızgara sırasında oluşan PAH'ların etin pişirme süresi ve yağ içeriğinden etkilendiği ifade edilmiştir. Öz and Yüzer (2016) ise yaptıkları bir çalışmada farklı ızgaralar ve pişirme seviyeleri (az, orta, iyi ve çok iyi) kullanılarak mangalda pişirilen sığır etlerinde PAH8 analizi yapmışlardır. PAH miktarının pişirme yöntemine ve seviyesine göre farklılık gösterdiği, az ve orta pişmiş sığır eti örneklerinde mangalda tel ızgarada pişirme sırasında PAH'a rastlanmadığı, iyi ve çok iyi pişmiş örneklerde ise pişirme seviyesinin artırılmasının toplam PAH miktarını artırdığı bildirilmiştir. Aynı çalışmada taş mangalda pişirilen örneklerdeki toplam PAH içeriğinin tel ızgarada pişirilenlerden daha yüksek olduğu ifade edilmiştir. Farklı pişirme yöntemleri kullanılarak farklı sürelerde pişirilen ev tipi et ürünlerinde PAH oluşumunun incelendiği bir çalışmada, odun kömürü ve talaşla mangal yapmanın çoğu üründe BaP oluşumuna sebebiyet verdiği, bununla birlikte talaş kullanmadan mangal yapmanın sadece sığır eti burgerleri için yüksek seviyelerde BaP oluşumuna neden olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca, pişirme süresinin ürünlerde PAH oluşumu üzerinde etkili olarak orta düzeyde bir artışa neden olduğu bildirilmiştir (Rose *et al.* 2015).

Et ve et ürünlerinde daha düşük PAH oluşumunu sağlamak için çeşitli uygulamaların denendiği çalışmalar da mevcuttur (Farhadian *et al.* 2011; Bartkiene *et al.* 2017; Park *et al.* 2017; Wang *et al.* 2019; Büyükkurt *et al.* 2020; Cordeiro *et al.* 2020; Nie *et al.* 2020). Kendirci *et al.* (2014) ohmik ön pişirme ve ardından kızılötesi pişirme işleminin köftelerde PAH kontaminasyonu açısından güvenli bir pişirme prosedürü olarak kabul edilebileceğini rapor etmişlerdir. Bir başka çalışmada kömürde ızgara edilen domuz sosislerde BaP içeriğinin azaltılmasında sarımsak esansiyel yağı kullanılmış ve kontrol grubuna göre BaP içeriğini önemli seviyede azalttığı tespit edilmiştir (Hu *et al.* 2021). Konu ile ilgili yapılan diğer iki çalışmadan birinde Zhang *et al.* (2023) mangalda pişirilen domuz sosislerinde, Cordeiro *et al.* (2020) ise domuz etinde farklı sirkelerin kullanımının PAH oluşumunu azalttığını belirlemişlerdir.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Araştırmada ısıl işlem görmüş sucuk üretimi için hammadde olarak kullanılan sığır eti ve et yağı Erzurum piyasasından temin edilmiştir. Kesimden sonra 24 saat $4\pm1^{\circ}\text{C}$ dinlendirilmiş, orta yaşlı (3-4 yaş) sığır karkaslarının but kısımlarından çıkarılan etler fazla yağ ve bağ dokuları temizlendikten sonra kuşbaşı büyüklüğünde doğranarak, et yağı ise kıymaya çekildikten sonra üretime kadar $-18\pm1^{\circ}\text{C}$ 'de muhafaza edilmiştir. Üretimde kullanılan tuz, sarımsak ve baharatlar yerel bir marketten, NaNO_2 ise uluslararası ticari bir firmadan (Merck) temin edilmiştir. Üretimde kolajen esaslı suni kılıf (Naturin Darm, Almanya) kullanılmıştır.

Lactobacillus sakei S15 (Kaya vd. 2015) ve *Staphylococcus xylosus* GM92 (Kaban and Kaya 2008) suşları starter kültür olarak sucuk hamurlarına ilave edilmiştir. Suşlar ısıl işlem görmüş sucuk üretiminden önce aktiveleştirilmiştir. *L. sakei* S15, de Man Rogosa Sharpe (MRS, Merck) sıvı besiyerinde, *S. xylosus* GM92 ise Tryptic Soy Broth (Merck) besiyerinde $30\pm1^{\circ}\text{C}$ 'de 24 saat inkübe edilmiştir. *L. sakei* S15 10^7 kob/g, *S. xylosus* GM92 ise 10^6 kob/g oranında sucuk hamurlarına ilave edilmiştir.

Metot

Isıl işlem görmüş sucuk üretimi

Sucuk hamurlarının hazırlanmasında Armutçu *et al.* (2020) tarafından verilen formülasyon (1kg et-yağ karışımı için; 20g tuz, 10g sarımsak, 4g sukroz, 7g kırmızıbiber, 5g karabiber, 9g kimyon, 2,5g yenibahar ve 150ppm sodyum nitrit) esas alınmıştır. Isıl işlem görmüş sucuk üretimi üç farklı yağ oranı (%10, %20 ve %30) kullanılarak iki blok halinde gerçekleştirilmiştir.

Sucuk hamurları her bir grup 4 kg olacak şekilde verilen formülasyon ile laboratuvar tipi kuterde (MADO Typ MTK 662, Almanya) hazırlanmıştır. Hazırlanan sucuk hamurları laboratuvar tipi pistonlu doldurucu (MADO Typ MTK 591, Almanya) kullanılarak suni kılıflara (Naturin Darm, 38 mm) 200 ± 10 g olacak şekilde doldurulmuştur. Dolumu takip eden 4 saatlik dengeleme işleminden sonra, klima ünitesinde $22\pm2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta, 90 ± 2 nispi nemde 24 saat olgunlaştırma yapılmıştır. Daha sonra sıcaklığı, nispi nemi ve hava cereyanı otomatik olarak kontrol edilebilen pişirme ünitesinde (Mauting, Çekya) iç sıcaklık 55°C 'den başlayarak 64°C 'ye ulaşana kadar örnekler ısıl işleme tabi tutulmuştur. Isıl işlem sonrası tekrar klima

ünitesine alınan örneklere $16\pm1^{\circ}\text{C}$ 'de $\%86\pm2$ nispi nemde 3 gün boyunca kurutma işlemi uygulanmıştır. Üretimden sonra ısıtma işlemi görmüş sucuklar vakum ambalajlanarak pişirme işlemlerine kadar $-18\pm1^{\circ}\text{C}$ 'de muhafaza edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Üretilen ısıtma işlem görmüş sucuklar (1: $\%10$ et yağı + $\%90$ sığır but eti; 2: $\%20$ et yağı + $\%80$ sığır but eti; 3: $\%30$ et yağı + $\%70$ sığır but eti)

Pişirme işlemi

Üretilen ısıtma işlem görmüş sucuklar, pişirme işlemi için 5 mm kalınlığında dilimlenerek ısıtıcı plaka üzerinde 180°C 'de ve odun kömürü kullanılarak mangalda az, orta ve çok olmak üzere üç farklı pişirme seviyesinde pişirilmiştir (Şekil 2). Her iki pişirme yöntemi için pişirme dereceleri ön denemeler yapılarak belirlenmiştir.

Isıtıcı plakada pişirme işlemi için 60 cm x 40 cm boyutlarında dikdörtgen şekilli bir restoran tip ısıtıcı plaka (Elektro-mag M3030, Türkiye) kullanılmıştır. Sıcaklık 180°C 'de sabitlenene kadar beklenilip daha sonra pişirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ısıtıcı plakanın yüzey sıcaklığı kızılötesi bir termometre (Testo AG, Almanya) ile ölçülmüş ve ön denemeler sonucunda ısıtıcı plaka üzerinde $28 \times 22 \text{ cm}^2$ 'lik bir alanda pişirme işlemi az (1 dk), orta (3 dk) ve çok (5 dk) pişirme seviyeleri için gerçekleştirilmiştir. Mangalda pişirme işlemi için 40 cm uzunluğunda, 24 cm genişliğinde ve 19 cm yüksekliğinde tüketici tipi bir mangal ve her pişirme seviyesi için 1 kg odun kömürü kullanılmıştır. Isıtma işlem görmüş sucuk örnekleri, ön denemeler sonucunda ısı kaynağından 2 cm uzaklıkta bir tel ızgara üzerinde $26 \times 18 \text{ cm}^2$ 'lik bir alanda az (0,5 dk), orta (1 dk) ve çok (1,5 dk) pişirme seviyeleri için mangalda pişirme işlemine tabi tutulmuştur. Hem ısıtıcı plakada hem de mangalda pişirilen ısıtma işlem görmüş sucuklar analizler için bir blender (Arzum, Türkiye) yardımıyla homojen hale getirilmiştir.



Şekil 2. Uygulanan pişirme yöntemleri (1: ısıtıcı plakada pişirme; 2: mangalda pişirme)

Araştırmada uygulanan deneme deseni Tablo 4’te verilmiştir. Pişirme öncesinde ve sonrasında her bir gruptan alınan örneklerde pH, nem, yağ ve polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH16) analizleri yapılmıştır. Ayrıca her bir gruba ait sucuk örneklerinde yağ ve nem tutma ile pişirme verimi değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 4. Deneme Deseni

Yağ Oranı	Pişirme Yöntemi	Pişirme Seviyesi	Blok	
			1	2
%10 yağ	Isıtıcı Plaka	Çiğ		
		Az		
		Orta		
		Çok		
	Mangal	Çiğ		
		Az		
		Orta		
		Çok		
%20 yağ	Isıtıcı Plaka	Çiğ		
		Az		
		Orta		
		Çok		
	Mangal	Çiğ		
		Az		
		Orta		
		Çok		
%30 yağ	Isıtıcı Plaka	Çiğ		
		Az		
		Orta		
		Çok		
	Mangal	Çiğ		
		Az		
		Orta		
		Çok		

pH

10g numune tartıldıktan sonra üzerine 100ml saf su ilave edilmiş ve ultraturrax (IKA Werk T25, Almanya) kullanılarak karışım homojen hale getirilmiştir. Elde edilen homojenizatın pH değeri, pH-metre (Mettler Toledo, İsviçre) kullanılarak belirlenmiştir (Gökalp vd. 2010).

Nem tayini

Nem tayini için AOAC International (AOAC 2005) tarafından verilen yöntem kullanılarak yaklaşık 10g örnek, kurutulmuş ve darası alınmış alüminyum kurutma kaplarına tartılmıştır. 100-102°C'deki kurutma fırınında (Mettler UM 400, Almanya) sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Meydana gelen ağırlık kaybından yola çıkılarak % nem içeriği hesaplanmıştır.

Yağ tayini

Yağ tayini AOAC (2005) tarafından verilen solvent ekstraksiyon yöntemi esas alınarak yapılmıştır. Analizde nem tayininden elde edilen kurutulmuş örnekler kullanılmıştır. Kurutma kapları içindeki örnekler ekstraksiyon timbillerine aktarılmış ve ekstraksiyon ünitesine (Daihan Scientific WHM12295, Kore) uygun şekilde yerleştirilmiştir. Daha önce kurutularak darası alınmış ekstraksiyon balonlarına petrol eteri konularak sistem çalıştırılmıştır. Ekstraksiyon işlemine 8 saat devam edildikten sonra ekstraksiyon balonlarında toplanan yağ miktarından yola çıkılarak % yağ miktarı hesaplanmıştır.

Nem ve yağ tutma

Sucuk örnekleri pişirme öncesi ve sonrasında tartılmış, belirlenen %nem ve yağ miktarları da kullanılarak % nem ve yağ tutma aşağıdaki formüllerle hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Nem Tutma} = \frac{\text{pişmiş ağırlık} \times \text{pişmiş örnekteki \% nem miktarı}}{\text{çiğ ağırlık} \times \text{çiğ örnekteki \% nem miktarı}} \times 100$$

$$\% \text{ Yağ Tutma} = \frac{\text{pişmiş ağırlık} \times \text{pişmiş örnekteki \% yağ miktarı}}{\text{çiğ ağırlık} \times \text{çiğ örnekteki \% yağ miktarı}} \times 100$$

Pişirme verimi

Sucuk dilimleri pişirme öncesi ve sonrasında tartılmış, elde edilen tartımlardan yola çıkılarak % pişirme verimi aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Pişirme Verimi} = \frac{\text{pişmiş ağırlık}}{\text{çiğ ağırlık}} \times 100$$

Polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAHs)

PAH analizinde Farhadian *et al.* (2011) tarafından verilen yöntem kullanılmıştır. 5 g örnek 15 mL 1 M soğuk NaOH çözeltisi içinde 3 saat homojenize edilmiş ve sabit faz olarak Extrelut dolgu malzemesi ile karıştırılıp 20 mL'lik Extrelut kolonuna yerleştirilmiştir. Daha sonra bu kolon bir PRS kolonuna bağlanmış ve PAH fraksiyonu diklorometan ile yıkanmıştır. Diklorometan ekstraktı kuruyana kadar nitrojen ile buharlaştırıldıktan sonra kalıntı 1 mL n-hekzan içerisinde yeniden çözündürülmüş ve 25 mL n-hekzan ile önceden koşullandırılmış aktif silika jel dolu bir kolona yerleştirilmiştir. Ardından kolon, PAH fraksiyonunu toplamak için 60:40 (v/v) n-hekzan:diklorometan ile yıkanmıştır. Çözücü uzaklaştırıldıktan sonra örnek asetonitril (1 mL) içinde çözölmüş ve tekrar azot altında çözücü uzaklaştırılarak 250 µL asetonitril eklenip bir vial içerisine alınmıştır. PAH analizi, HPLC (Agilent 1100, ABD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sistemde kolon olarak Ultisil (250 mm x 4,6 mm, 5 µm) kullanılmıştır. Mobil faz olarak deiyonize su ve asetonitril kullanılmıştır. Akış hızı 1,5 mL/dk ve enjeksiyon hacmi 10 µL olacak şekilde ayarlanmıştır. Örneklerdeki PAH konsantrasyonu, farklı konsantrasyonlardaki standartlarla oluşturulan kalibrasyon kurvesi ile hesaplanmıştır.

İstatiksel analiz

Araştırmada, yağ oranı (%10, %20 ve %30 yağ), pişirme yöntemi (ısıtıcı plaka ve mangal) ve pişirme seviyesi (çiğ, az pişmiş, orta pişmiş ve çok pişmiş) faktör olarak alınmış ve denemeler 3×2×4 faktöriyel düzende şansa bağlı tam bloklar deneme planına göre 2 farklı zamanda tekerrürlü (2 blok) olarak yürütölmüştür. Araştırma sonucunda elde edilen veriler IBM SPSS Statistic 20 paket program kullanılarak iki yönlü varyans analizine tabi tutulmuş ve önemli bulunan ana varyasyon kaynaklarına ait ortalamalar Duncan çoklu karşılaştırma testi ile karşılaştırılmıştır. Varyasyon kaynakları arasında önemli bulunan iki ve üç değişkenli interaksiyonlar da yine Duncan çoklu karşılaştırma testiyle karşılaştırılmıştır.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

pH

Et ürünlerinde özellikle sucuk üretiminde, önemli bir üretim aşaması olan fermentasyon işlemi esnasında pH'da meydana gelen değişimin hem ürün güvenliğini artırdığı hem de renk, tekstür, tat ve aroma gibi son ürün özelliklerine katkıda bulunduğu bilinmektedir (Gökalp vd. 2012). Mevcut bu araştırma kapsamında farklı yağ oranları ile üretilen ısıl işlem görmüş sucuklarda farklı pişirme yöntem ve seviyelerinde belirlenen pH değerleri Tablo 5'te verilmiştir. Farklı yağ oranlarına sahip ısıl işlem görmüş sucuklarda pH değeri çiğ örnekler için 4,95-5,14 arasında, pişmiş örnekler için ise 4,97-5,21 arasında belirlenmiştir. Tüm örneklerde belirlenen pH değerlerinin Türk Gıda Kodeksi Et, Hazırlanmış Et Karışımları ve Et Ürünleri Tebliği'nde limit olarak belirlenen 5,6 değerinin altında olduğu tespit edilmiştir. Isıl işlem görmüş sucuk üzerine yapılan birçok çalışmada da benzer pH değerleri belirlendiği görülmektedir (Saraç 2019; Armutçu *et al.* 2020; Yılmaz Oral 2022).

Farklı yağ oranlarıyla üretilen ısıl işlem görmüş sucukların farklı pişirme yöntem ve pişirme seviyelerinde belirlenen pH değerlerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 6'da verilmiştir. Isıl işlem görmüş sucukların pH değeri üzerinde blok ve pişirme seviyesinin önemli seviyede etkili olduğu tespit edilmiştir ($p<0,01$). Diğer yandan ısıl işlem görmüş sucuk üretiminde farklı yağ oranlarının kullanımı pH değeri üzerinde önemli seviyede etkili olmamıştır ($p>0,05$). Benzer şekilde pişirme yöntemi de ısıl işlem görmüş sucukların pH değerini önemli seviyede etkilememiştir ($p>0,05$). Nacak (2015) ısıl işlem görmüş sucuklarda, Soyer *et al.* (2005) ise sucuklarda yağ oranının artırılmasının pH değeri üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını bildirmişlerdir. Bununla birlikte diğer bazı çalışmalarda ısıl işlem görmüş sucuk üretiminde kullanılan yağ oranının pH değeri üzerinde etkili olduğu da bildirilmiştir (Öven *et al.* 2017; Arslan 2023). Öz and Yüzer (2016) ise sığır eti bifteğinde yaptıkları bir çalışmada pişirme yönteminin de pH değeri üzerinde önemli bir etkisinin bulunmadığını tespit etmişlerdir.

Tablo 5. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen pH Değerleri

Pişirme Yöntemi	Yağ Oranı	Pişirme Seviyesi	Blok	
			1	2
Isıtıcı Plaka	%10	Çiğ	5,01	5,08
			5,02	5,09
		Az	5,06	5,09
			5,07	5,10
		Orta	5,07	5,13
			5,08	5,15
		Çok	5,08	5,16
			5,09	5,17
	%20	Çiğ	4,95	5,14
			4,96	5,14
		Az	4,99	5,13
			5,00	5,12
		Orta	5,04	5,15
			5,05	5,14
		Çok	5,05	5,20
			5,05	5,20
	%30	Çiğ	5,04	5,04
			5,04	5,03
		Az	5,05	5,09
			5,04	5,08
		Orta	5,08	5,12
			5,10	5,14
		Çok	5,11	5,15
			5,11	5,16
Mangal	%10	Çiğ	5,01	5,08
			5,02	5,09
		Az	5,04	5,05
			5,05	5,05
		Orta	5,06	5,11
			5,05	5,11
		Çok	5,04	5,13
			5,05	5,12
	%20	Çiğ	4,95	5,14
			4,96	5,14
		Az	4,98	5,21
			4,97	5,20
		Orta	5,03	5,20
			5,03	5,21
		Çok	5,07	5,13
			5,08	5,14
	%30	Çiğ	5,04	5,04
			5,04	5,03
		Az	5,06	5,11
			5,07	5,11
		Orta	5,05	5,10
			5,06	5,12
		Çok	5,14	5,16
			5,13	5,18

Tablo 6. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen pH Değerlerinin Varyans Analizi Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KO	F
Piştirme Yöntemi (PY)	1	0,000	0,307
Yağ Oranı (YO)	2	0,001	0,609
Piştirme Seviyesi (PS)	3	0,026	19,227**
Blok (B)	1	0,154	113,246**
PY x YO	2	0,002	1,835
YO x PS	6	0,001	0,792
PY x PS	3	0,001	0,373
PY x YO x PS	6	0,001	0,810
Hata	71	0,001	-
Genel	96	-	-

**p<0,01

Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen ortalama pH değerleri ile piştirme seviyesine ait ortalamaların Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları Tablo 7’de verilmiştir. Isıl işlem görmüş sucukların çiğ örneklerinde ortalama pH değeri $5,04 \pm 0,01$ olarak tespit edilmişken, piştirme seviyesine bağlı olarak pH değerinde artış meydana gelmiş ve en yüksek ortalama pH değeri $5,12 \pm 0,01$ olarak çok pişirilmiş örneklerde bulunmuştur. pH değerindeki bu artışın muhtemelen piştirme işlemi esnasında proteinlerde meydana gelen denatürasyondan kaynaklandığı düşünülmektedir. Nitekim Choi *et al.* (2015) Frankfurter tipi sosislerde piştirme etkisiyle pH’da artış meydana geldiğini ve bu artışın histidin amino asidinin bazik özellikteki temel R grubu olan imidazolyumun piştirme işlemi sırasında protein denatürasyonu nedeniyle açığa çıkmasından kaynaklandığını bildirmişlerdir. Benzer bir durumun ısıtma işlemi görmüş sucukların pişirilmesi esnasında meydana geldiği ve piştirme seviyesine bağlı olarak artan protein denatürasyonunun pH değerinde artışa sebebiyet verdiği düşünülmektedir. Mevcut bu araştırmada olduğu gibi piştirme işleminin farklı et ürünlerinde pH değerinin artmasına neden olduğu diğer bazı çalışmalarda da belirlenmiştir (Choi *et al.* 2016; Öz ve Yüzer, 2016; Kırkyol and Akköse, 2023).

Tablo 7. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen Ortalama pH Değerleri ile Piştirme Seviyesine Ait Ortalamaların Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları

Yağ Oranı	pH
%10	$5,08 \pm 0,01^a$
%20	$5,09 \pm 0,01^a$
%30	$5,09 \pm 0,01^a$

Tablo 7. (devamı)

Piştirme Yöntemi	
Isıtıcı plaka	5,09±0,01 ^a
Mangal	5,08±0,01 ^a
Piştirme Seviyesi	
Çiğ	5,04±0,01 ^a
Az	5,07±0,01 ^b
Orta	5,10±0,01 ^c
Çok	5,12±0,01 ^d

^{a-d}: Farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır (p<0,05).

±: standart hata

Nem İçeriği

Piştirilmiş et ve et ürünlerinde nem içeriği ürün kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olup piştirme derecesine bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Farklı yağ oranlarıyla üretilen ısıt işlem görmüş sucukların farklı piştirme yöntemi ve piştirme seviyelerinde belirlenen nem içerikleri (%) Tablo 8’de verilmiştir. %10 yağ oranıyla üretilen ısıt işlem görmüş sucuklarda nem içeriği %47,76-50,61 arasında belirlenmişken, %20 ve %30 yağlı örneklerde ise sırasıyla %44,04-45,01 ve %36,10-39,21 arasında bulunmuştur. Benzer şekilde Saraç (2019) tarafından yapılan bir çalışmada Erzurum piyasasından toplanan ısıt işlem görmüş sucuklarda nem içeriğinin %39,87-47,88 arasında olduğu belirlenmiştir. Isıt işlem görmüş sucukta benzer nem içeriklerinin tespit edildiği başka çalışmalar da bulunmaktadır (Nacak 2015; Öven *et al.* 2017). Türk Gıda Kodeksi Et, Hazırlanmış Et Karışımları ve Et Ürünleri Tebliği’nde ısıt işlem görmüş sucuğun nem miktarının toplam et proteinine oranının 3,6’nın altında olması gerektiği belirtilmiştir (Anonim 2019). Mevcut bu tez çalışmasında %10, %20 ve %30 olmak üzere üç farklı yağ oranında üretilen ısıt işlem görmüş sucukların piştirme öncesinde nem miktarları sırasıyla %49,20, %44,56 ve %37,55 olarak belirlenmiştir.

Isıt işlem görmüş sucuklarda belirlenen nem içeriklerine ait varyans analiz sonuçları Tablo 9’da verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre piştirme yöntemi, yağ oranı ve piştirme seviyesi ile blok nem içeriği üzerinde önemli seviyede etkili olmuştur (p<0,01). Ayrıca çalışmada yağ oranı ve piştirme seviyesi arasındaki interaksyon ile piştirme yöntemi ve piştirme seviyesi arasındaki interaksyonun da nem içeriği üzerinde önemli seviyede etkili olduğu görülmüştür (p<0,01).

Tablo 8. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen Nem İçerikleri (%)

Pişirme Yöntemi	Yağ Oranı	Pişirme Seviyesi	Blok	
			1	2
Isıtıcı Plaka	%10	Çiğ	50,61	47,76
			50,57	47,87
		Az	47,59	44,66
			47,66	44,82
		Orta	41,47	39,58
			41,15	39,45
		Çok	36,27	33,07
			36,38	32,91
	%20	Çiğ	45,01	44,04
			44,91	44,28
		Az	43,37	41,04
			43,75	41,49
		Orta	36,89	34,22
			36,98	34,33
		Çok	30,06	27,80
			30,00	27,71
	%30	Çiğ	38,70	36,17
			39,21	36,10
		Az	37,05	35,13
			36,68	35,21
		Orta	30,35	28,53
			30,45	28,59
		Çok	23,57	21,19
			23,58	21,27
Mangal	%10	Çiğ	50,61	47,76
			50,57	47,87
		Az	45,88	45,56
			46,08	45,43
		Orta	45,77	40,86
			45,03	40,88
		Çok	42,10	40,28
			41,78	40,14
	%20	Çiğ	45,01	44,04
			44,91	44,28
		Az	42,71	41,47
			42,80	40,89
		Orta	37,71	38,21
			37,73	38,45
		Çok	34,57	30,29
			34,53	30,22
	%30	Çiğ	38,70	36,17
			39,21	36,10
		Az	35,61	36,73
			35,99	36,78
		Orta	31,95	32,30
			32,51	32,36
		Çok	26,49	28,20
			26,00	28,06

Tablo 9. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen Nem İçeriklerinin Varyans Analizi Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KO	F
Piştirme Yöntemi (PY)	1	80,850	97,751**
Yağ Oranı (YO)	2	1035,187	1251,579**
Piştirme Seviyesi (PS)	3	758,070	916,535**
Blok (B)	1	76,970	93,060**
PY x YO	2	1,383	1,672
YO x PS	6	5,772	6,978**
PY x PS	3	35,258	42,629**
PY x YO x PS	6	1,092	1,321
Hata	71	0,827	-
Genel	96	-	-

**p<0,01

Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen nem içeriklerine ait ortalamalar ile Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları Tablo 10’da verilmiştir. Tablodan görüldüğü üzere %10 yağ oranına sahip sucuklarda ortalama nem içeriği $43,70 \pm 0,87$ olarak tespit edilmiş olup daha yüksek yağ oranına sahip örneklerde daha düşük nem içeriği belirlenmiştir. Üretimde kullanılan daha yüksek yağ oranının oransal olarak nem içeriğinde azalmaya yol açtığı söylenebilir. Soyer *et al.* (2005) yaptıkları bir çalışmada bu çalışmaya benzer şekilde üç farklı yağ oranında sucuk üretimi gerçekleştirmişler ve nem içeriğinin yağ oranındaki artış ile azalma gösterdiğini tespit etmişlerdir. Yine ısıl işlem görmüş sucuk üzerinde yapılan başka bir çalışmada formülasyonda yağ miktarı arttıkça nem içeriğinin azaldığı bildirilmiştir (Öven *et al.* 2017).

Piştirme yöntemindeki farklılık ısıl işlem görmüş sucukların nem içeriğini önemli seviyede etkilemiş ve ısıtıcı plakada pişirilen örneklerde mangalda pişirilenlere göre daha düşük bir ortalama nem içeriği belirlenmiştir. Bu durumun piştirme seviyelerinin piştirme yöntemlerine bağlı olarak farklı sürelerde uygulanmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Isıl işlem görmüş sucuklarda piştirme seviyesinin de nem içeriği üzerinde önemli seviyede etkili olduğu görülmüştür ($p < 0,05$). Piştirme seviyesi yükseldikçe örneklerdeki nem içeriğinde azalma meydana gelmiş ve en düşük ortalama nem içeriği $31,10 \pm 1,27$ olarak çok pişirilmiş örneklerde tespit edilmiştir. Bu durum muhtemelen artan piştirme seviyesine bağlı olarak piştirme işlemi ile üründen daha yüksek oranda nemin evaporasyonla uzaklaşmasından kaynaklanmıştır. Karşlıoğlu and Kolsarıcı (2023) döner örnekleri üzerinde yaptıkları bir çalışmada örneklerde tüm piştirme yöntemlerinde piştirme seviyesi arttıkça nem içeriğinin azaldığını bildirmişlerdir. Ayrıca çalışmada kömür ateşinde pişirilen yüksek yağlı döner örneklerinde düşük yağlı dönerlere göre nem içeriğinin daha düşük seviyede olduğu bildirilmiştir.

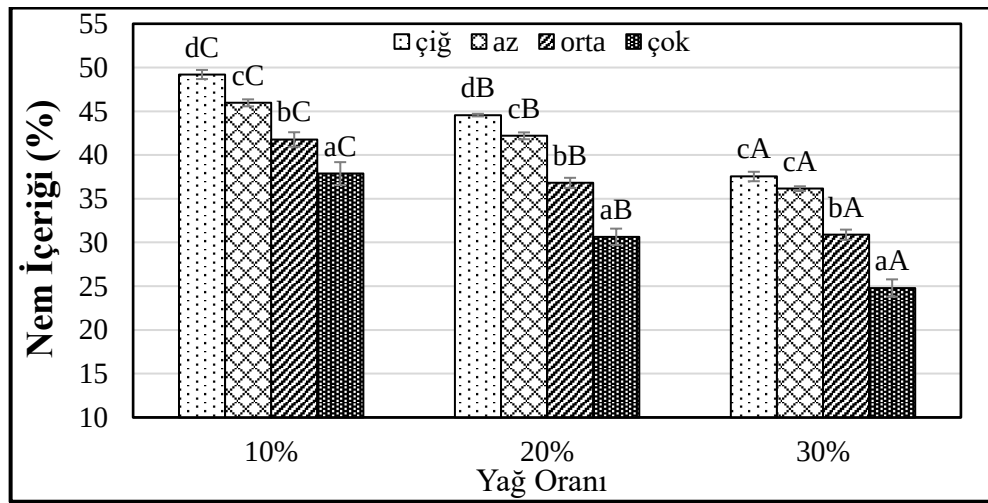
Tablo 10. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen Nem İçeriklerine Ait Ortalamalar ile Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları

Yağ Oranı	Nem İçeriği (%)
%10	43,70±0,87 ^c
%20	38,55±1,00 ^b
%30	32,34±0,95 ^a
Pişirme Yöntemi	
Isıtıcı plaka	37,28±1,11 ^a
Mangal	39,12±0,91 ^b
Pişirme Seviyesi	
Çiğ	43,77±1,03 ^d
Az	41,43±0,87 ^c
Orta	36,49±1,00 ^b
Çok	31,10±1,27 ^a

^{a-d}: Farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır (p<0,05).

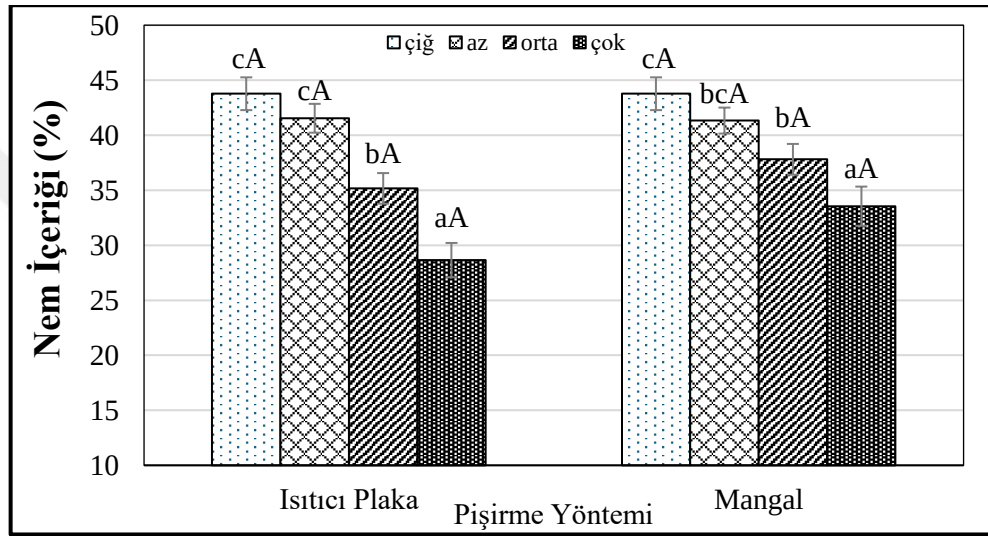
±: standart hata

Isıl işlem görmüş sucukların nem içeriği üzerine yağ oranı x pişirme seviyesi interaksiyonunun etkisi Şekil 3'te gösterilmiştir. Nem içeriği tüm yağ oranlarında pişirme seviyesine bağlı olarak önemli seviyede farklılık göstermiştir (p<0,05). %10 ve %20 yağ oranı ile üretilen ısıl işlem görmüş sucuklarda pişirme seviyesi yükseldikçe nem içeriği azalmış ve en düşük nem içeriği çok pişirme seviyesinde belirlenmiştir. %30 yağ oranlı sucuklarda ise çiğ ve az pişmiş örnekler arasında istatistiki açıdan bir farklılık görülmemişken (p>0,05), diğer iki pişirme seviyesinde nem içeriğinin önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir (p<0,05). Ayrıca tüm pişirme seviyeleri için yağ oranı arttıkça nem içeriği önemli seviyede azaldığı görülmüştür (p<0,05).



Şekil 3. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen nem içeriklerine ait yağ oranı x pişirme seviyesi interaksiyonu (^{a-d}: Aynı yağ oranında farklı pişirme seviyelerinde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır (p<0,05), ^{A-C}: Aynı pişirme seviyesinde farklı yağ oranlarında farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır (p<0,05))

Şekil 4'te ısıtıcı plakada pişirme işlemi görmüş sucukların nem içeriği üzerine pişirme yöntemi x pişirme seviyesi etkisi gösterilmiştir. Isıtıcı plakada pişirme işlemi görmüş örnekler arasında istatistiki açıdan farklılık göstermediği, ancak orta pişmiş hem de çok pişmiş seviyelerinde önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir ($p<0,05$). Benzer şekilde mangalda pişirme işlemi görmüş örneklerde pişirme seviyesi arttıkça nem içeriğinin önemli seviyede azaldığı, bununla birlikte az pişirilmiş örneklerin çığ ve orta pişirilmiş örneklerle benzerlik gösterdiği belirlenmiştir ($p<0,05$). Buna karşın ısıtıcı plakada pişirme işlemi görmüş sucukların nem içeriğinde tüm pişirme seviyelerinde pişirme yönteminin önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir ($p>0,05$).



Şekil 4. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen nem içeriklerine ait pişirme yöntemi x pişirme seviyesi etkisi (a-c: Aynı pişirme yönteminde farklı pişirme seviyelerinde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$), A: Aynı pişirme seviyesinde farklı pişirme yöntemlerinde belirlenen ortalamalar arasında istatistiki açıdan farklılık yoktur ($p>0,05$))

Yağ Miktarı

Et ürünlerinin bileşiminde yer alan yağ, ürünlerin görünüş, lezzet, tekstür ve sululuk gibi birçok kalite özelliğini doğrudan etkileyebilmektedir (Garcia *et al.* 2002). Mevcut bu çalışmada farklı yağ oranlarıyla üretilen ısıtıcı plakada pişirme işlemi görmüş sucukların farklı pişirme yöntemi ve pişirme seviyelerinde belirlenen yağ miktarları (%) Tablo 11'de verilmiştir. Isıl işlem görmüş sucukların üretiminde kullanılan yağ oranları dikkate alındığında grupların yağ miktarları arasında beklendiği üzere farklılıklar ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda %10, %20 ve %30 yağ oranlarıyla üretilen ısıtıcı plakada pişirme işlemi görmüş sucukların üretim sonrası çığ örneklerinde yağ miktarları sırasıyla %13,39-13,99, %23,68-24,36 ve %31,55-34,30 arasında belirlenmiştir. Isıl işlem görmüş sucuk üzerine yapılan diğer bazı tez çalışmalarında da benzer yağ miktarları bildirilmiştir (Nacak 2015; Öven *et al.* 2017; Saraç 2019).

Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen yağ miktarlarına ait varyans analizi sonuçları Tablo 12’de verilmiştir. Pişirme yöntemi, yağ oranı ve pişirme seviyesi, yağ miktarı üzerinde önemli seviyede etkili olmuştur ($p<0,01$). Ayrıca yağ oranı x pişirme seviyesi interaksyonun da yağ miktarı üzerinde önemli seviyede etkili olduğu görülmüştür ($p<0,01$).

Tablo 11. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen Yağ Miktarları (%)

Pişirme Yöntemi	Yağ Oranı	Pişirme Seviyesi	Blok	
			1	2
Isıtıcı Plaka	%10	Çiğ	13,87	13,63
			13,99	13,39
		Az	12,65	13,99
			12,45	13,59
		Orta	12,44	12,98
			12,58	13,29
		Çok	12,83	13,89
			12,65	14,09
	%20	Çiğ	24,36	23,68
			23,91	23,76
		Az	19,97	20,17
			19,69	20,10
		Orta	17,69	18,47
			18,59	18,89
		Çok	18,67	18,88
			19,47	19,09
	%30	Çiğ	31,80	33,75
			31,55	34,30
		Az	27,07	27,87
			26,25	27,46
		Orta	25,89	24,06
			25,67	23,66
		Çok	26,47	24,70
			25,76	24,28
Mangal	%10	Çiğ	13,87	13,63
			13,99	13,39
		Az	15,37	15,47
			15,64	15,78
		Orta	14,27	15,79
			13,38	15,10
		Çok	14,15	14,85
			14,34	14,48

Tablo 11. (devamı)

%20	Çiğ	24,36	23,68
		23,91	23,76
	Az	24,57	24,46
		24,59	24,00
	Orta	20,85	19,33
		20,55	19,07
	Çok	19,04	21,13
		18,71	21,10
	Çiğ	31,80	33,75
		31,55	34,30
%30	Az	33,67	31,20
		33,11	31,15
	Orta	27,35	27,04
		27,29	27,49
	Çok	26,38	26,25
		25,93	25,66

Tablo 12. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen Yağ Miktarlarının Varyans Analizi Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KO	F
Piştirme Yöntemi (PY)	1	70,538	120,808**
Yağ Oranı (YO)	2	1715,909	2938,773**
Piştirme Seviyesi (PS)	3	85,744	146,850**
Blok (B)	1	0,823	1,410
PY x YO	2	1,163	1,992
YO x PS	6	23,742	40,662**
PY x PS	3	17,450	29,885
PY x YO x PS	6	1,121	1,920
Hata	71	0,584	-
Genel	96	-	-

**p<0,01

Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen yağ miktarlarına ait ortalamalar ile Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları Tablo 13'te verilmiştir. Yağ miktarının farklı yağ oranları kullanılarak üretilen ısıtılmış işlem görmüş sucuk grupları arasında önemli seviyede değişim gösterdiği ve yağ oranı arttıkça yağ miktarının da arttığı tespit edilmiştir ($p<0,05$). Öven *et al.* (2017) tarafından yapılan bir araştırmada ise ısıtılmış işlem görmüş sucuklarda formülasyona giren yağ oranı arttıkça yağ miktarının arttığı tespit edilmiştir. Benzer sonuçlar Soyer *et al.* (2005) tarafından yapılan bir çalışmada ise sucuk örnekleri için tespit edilmiştir.

Piştirme yöntemi ısıt işlem görmüş sucukların yağ miktarını önemli seviyede etkilemiş ve mangalda piştirme yönteminde daha yüksek bir ortalama yağ miktarı belirlenmiştir ($p<0,05$). Bu durumun mangalda piştirme yönteminde uygulanan daha kısa süreli piştirme seviyelerinden kaynaklandığı düşünülmüştür. Döner örneklerinde farklı piştirme yöntemlerinin uygulandığı bir çalışmada da benzer şekilde yağ miktarının piştirme yönteminden etkilendiği bildirilmiştir (Karslıoğlu and Kolsarıcı 2023). Ayrıca piştirme seviyesi de ısıt işlem görmüş sucukların yağ miktarı üzerinde önemli seviyede etkili olmuştur ($p<0,05$). Piştirme seviyesine bağlı olarak yağ miktarının azaldığı, ancak orta ve çok pişirilmiş örnekler arasında istatistiki açıdan önemli bir farklılığın olmadığı görülmüştür ($p>0,05$). Bu durum muhtemelen artan piştirme seviyesine bağlı olarak piştirme işlemi esnasındaki daha yüksek yağ kaybından kaynaklanmıştır.

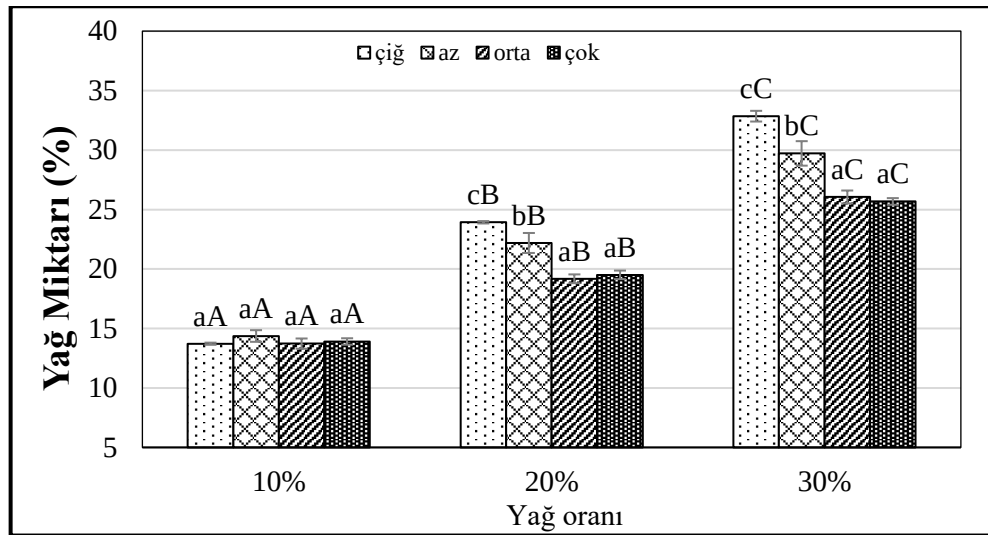
Tablo 13. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen Yağ Miktarlarına Ait Ortalamalar ile Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları

Yağ Oranı	Yağ Miktarı (%)
%10	13,93±0,17 ^a
%20	21,20±0,42 ^b
%30	28,58±0,61 ^c
Piştirme Yöntemi	
Isıtıcı plaka	20,38±0,91 ^a
Mangal	22,09±0,95 ^b
Piştirme Seviyesi	
Çiğ	23,50±1,64 ^c
Az	22,09±1,38 ^b
Orta	19,65±1,08 ^a
Çok	19,70±1,02 ^a

^{a-c}: Farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$).

±: standart hata

Isıl işlem görmüş sucukların yağ miktarı üzerine yağ oranı x piştirme seviyesi interaksiyonunun etkisi Şekil 5'te gösterilmiştir. %10 yağ kullanılarak üretilen ısıt işlem görmüş sucuklarda yağ miktarı piştirme seviyesinden etkilenmemişken ($p>0,05$), %20 ve %30 yağlı örneklerde piştirme seviyesi yağ miktarını önemli seviyede etkilemiştir ($p<0,05$). Bu bağlamda her iki grup ısıt işlem görmüş sucuklarda da piştirme yönteminden bağımsız olarak piştirme seviyesi yükseldikçe yağ miktarının azaldığı, ancak orta ve çok pişmiş seviyeleri arasındaki farklılığın istatistiki açıdan önemli olmadığı belirlenmiştir ($p>0,05$). Ayrıca tüm piştirme seviyeleri için üretimde kullanılan yağ oranına bağlı olarak örneklerdeki yağ miktarının önemli seviyede farklılık gösterdiği tespit edilmiştir ($p<0,05$).



Şekil 5. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen yağ miktarına ait yağ oranı x pişirme seviyesi interaksyonu (^{a-c}: Aynı yağ oranında farklı pişirme seviyelerinde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$), ^{A-C}: Aynı pişirme seviyesinde farklı yağ oranlarında farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$))

Nem Tutma

Nem tutma, ürün kalitesini belirleyen önemli teknolojik özelliklerden birisidir. Farklı yağ oranlarıyla üretilen ısıtılmış sucukların farklı pişirme yöntemi ve pişirme seviyelerinde belirlenen nem tutma (%) değerleri Tablo 14’te, bu değerlere ait varyans analizi sonuçları ise Tablo 15’te verilmiştir. Çalışmada kullanılan tüm yağ oranları ile pişirme yöntemlerinde örneklerdeki nem tutma değerlerinin farklı pişirme seviyelerine bağlı olarak değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Genel itibariyle daha yüksek pişirme seviyelerinde daha düşük nem tutma değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte varyans analiz sonuçlarına göre pişirme yöntemi, yağ oranı ve pişirme seviyesinin nem tutma değeri üzerinde önemli seviyede etkili olduğu görülmüştür ($p<0,01$). Ayrıca nem tutma değerinin yağ oranı ve pişirme seviyesi, pişirme yöntemi ve pişirme seviyesi ile pişirme yöntemi, yağ oranı ve pişirme seviyesi interaksyonlarından da önemli seviyede etkilendiği belirlenmiştir ($p<0,01$).

Tablo 14. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen Nem Tutma Değerleri (%)

Pişirme Yöntemi	Yağ oranı	Pişirme Seviyesi	Blok	
			1	2
Isıtıcı Plaka	%10	Az	82,36	83,02
			81,66	82,06
		Orta	60,79	62,58
			60,40	63,75
		Çok	46,01	47,06
			47,10	46,28
	%20	Az	78,97	78,58
			78,44	78,03
		Orta	54,61	53,38
			54,00	54,34
		Çok	39,44	36,38
			39,87	36,56
	%30	Az	70,73	74,13
			70,62	72,78
		Orta	49,25	47,04
			49,26	46,11
		Çok	32,09	33,14
			32,75	32,68
Mangal	%10	Az	83,32	88,32
			83,35	88,13
		Orta	76,13	73,68
			76,01	74,88
		Çok	65,01	66,02
			65,99	65,21
	%20	Az	85,91	84,75
			86,60	84,55
		Orta	66,12	70,45
			66,34	70,86
		Çok	53,38	45,08
			53,55	44,88
	%30	Az	83,75	87,99
			83,74	89,95
		Orta	56,14	59,77
			54,76	60,04
		Çok	37,66	46,84
			38,64	46,27

Tablo 15. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen Nem Tutma Değerlerinin Varyans Analizi Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KO	F
Piştirme Yöntemi (PY)	1	2309,960	455,081**
Yağ Oranı (YO)	2	1024,725	201,879**
Piştirme Seviyesi (PS)	2	7839,665	1544,477**
Blok (B)	1	13,193	2,599
PY x YO	2	1,820	0,359
YO x PS	4	117,303	23,110**
PY x PS	2	43,629	8,595**
PY x YO x PS	4	59,989	11,818**
Hata	53	5,076	-
Genel	72	-	-

**p<0,01

Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen nem tutma değerlerine ait ortalamalar ile Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları Tablo 16’da verilmiştir. Isıl işlem görmüş sucukların üretiminde kullanılan yağ oranı arttıkça nem tutma değerlerinin önemli seviyede azaldığı tespit edilmiştir ($p<0,05$). Ayrıca ısıtıcı plakada pişirilen sucuk örneklerinde mangalda pişirilenlere göre daha düşük bir ortalama nem tutma değeri belirlenmiştir ($p<0,05$). Bunun yanı sıra üretilen ısıl işlem görmüş sucukların pişirilme seviyeleri yükseldikçe nem tutma değerlerinin azaldığı görülmüş ve en düşük ortalama nem tutma değeri çok pişirilmiş örneklerde $45,74\pm 2,23$ olarak hesaplanmıştır ($p<0,05$). Bu durum muhtemelen daha yüksek pişirme seviyelerinde meydana gelen daha fazla nem evaporasyonu ile protein denatürasyonundan kaynaklanmıştır. Nitekim, mevcut bu çalışmada pişirme işlemi sonrasında sucuk örneklerinde daha düşük nem içerikleri belirlenmiştir. Ayrıca ürünlerdeki nemin büyük oranda protein matrisi tarafından tutulduğu ve protein denatürasyonuna bağlı olarak nem tutmanın azalabileceği de bildirilmiştir (Godsalve *et al.* 1977). Serdaroğlu (2006) tarafından yapılan bir çalışmada köfte formülasyonlarında yağın azaltılmasının daha yüksek nem tutma ve sululuk ile sonuçlandığı ifade edilmiş ve %20 yağ ile formüle edilen köftelerin, %5 ve %10 yağ ile formüle edilen köftelere göre daha düşük nem tutma değerlerine sahip olduğu bildirilmiştir. Benzer sonuçlar diğer bazı araştırmacılar tarafından da rapor edilmiştir (Serdaroğlu and Değirmencioğlu 2004; Soncu *et al.* 2015).

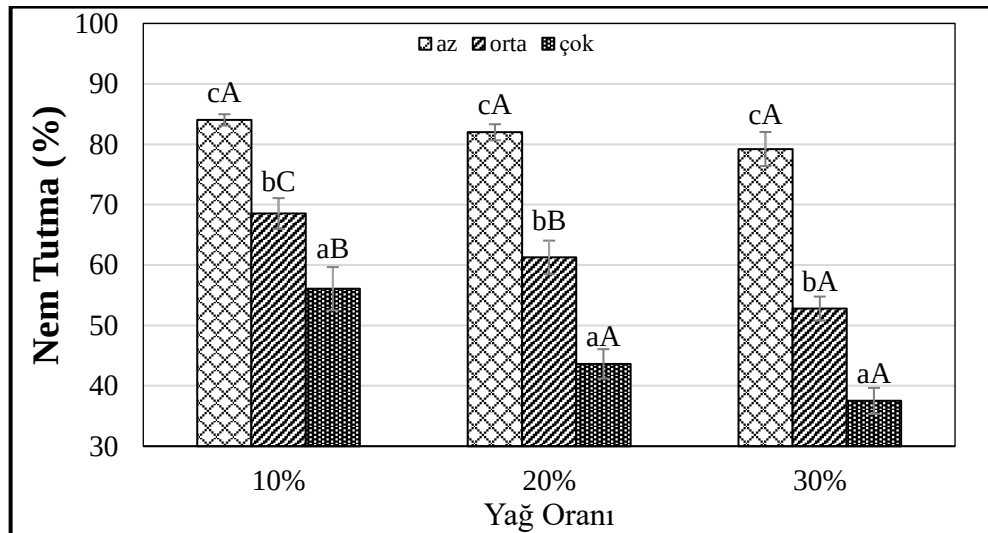
Tablo 16. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen Nem Tutma Değerlerine Ait Ortalamalar ile Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları

Yağ Oranı	Nem Tutma (%)
%10	69,55±2,78 ^c
%20	62,29±3,50 ^b
%30	56,50±3,82 ^a
Piştirme Yöntemi	
Isıtıcı plaka	57,12±2,82 ^a
Mangal	68,45±2,64 ^b
Piştirme Seviyesi	
Az	81,74±1,12 ^c
Orta	60,86±1,91 ^b
Çok	45,74±2,23 ^a

^{a-c}: Farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$).

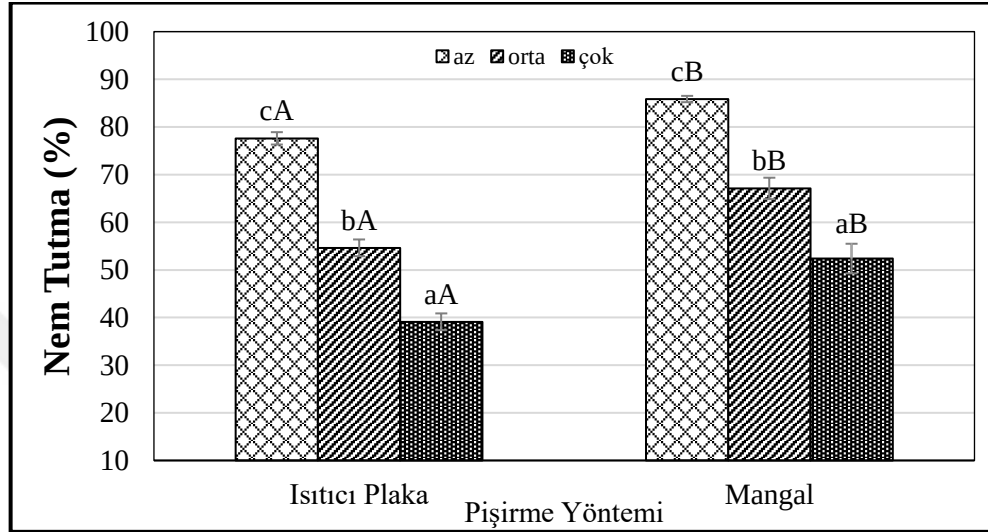
±: standart hata

Isıl işlem görmüş sucukların nem tutma değerleri üzerine yağ oranı x piştirme seviyesi etkisinin Şekil 6’da gösterilmiştir. Çalışmada kullanılan tüm yağ oranlarında piştirme seviyesine bağlı olarak nem tutma değerlerinin önemli seviyede azaldığı görülmektedir ($p<0,05$). Bununla birlikte farklı yağ oranlarında az piştirme seviyesinde nem tutma değerleri arasında önemli bir farklılık bulunmazken ($p>0,05$), orta ve çok pişmiş örneklerde yağ miktarı arttıkça nem tutma değerinde azalma meydana geldiği belirlenmiştir ($p<0,05$). Bununla birlikte, çok piştirme seviyesinde %20 ve %30 yağ oranı kullanımının nem tutma üzerinde önemli bir etkiye neden olmadığı görülmüştür ($p>0,05$).



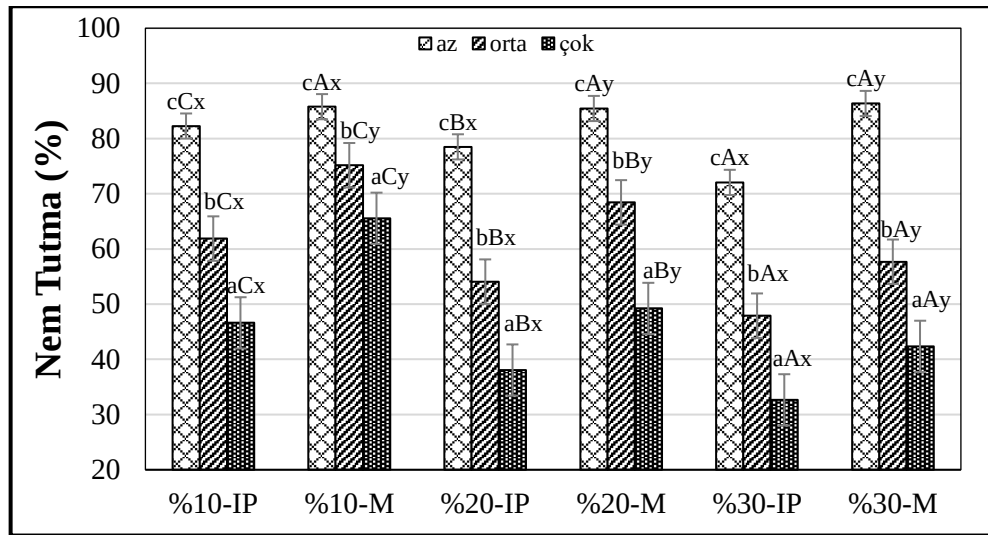
Şekil 6. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen nem tutma değerlerine ait yağ oranı x piştirme seviyesi etkisi (a-c: Aynı yağ oranında farklı piştirme seviyelerinde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$), A-C: Aynı piştirme seviyesinde farklı yağ oranlarında farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$))

Şekil 7’de ısıl işlem görmüş sucukların nem tutma değerleri üzerine pişirme yöntemi x pişirme seviyesi interaksyonunun etkisi gösterilmiştir. Hem pişirme yöntemi hem de pişirme seviyesinin nem tutma değeri üzerinde önemli seviyede etkili olduğu, her iki pişirme yönteminde de pişirme seviyesi yükseldikçe nem tutma değerinin azaldığı, ayrıca tüm pişirme derecelerinde mangalda pişirme işleminde ısıtıcı plakada pişirmeye kıyasla daha yüksek nem tutma değerlerinin elde edildiği tespit edilmiştir.



Şekil 7. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen nem tutma değerlerine ait pişirme yöntemi x pişirme seviyesi interaksyonu (^{a-c}: Aynı pişirme yönteminde farklı pişirme seviyelerinde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$), ^{A-B}: Aynı pişirme seviyesinde farklı pişirme yönteminde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$))

Isıl işlem görmüş sucukların nem tutma değerleri üzerine pişirme yöntemi x yağ oranı x pişirme seviyesi interaksyonunun etkisi ise Şekil 8’de gösterilmiştir. Üç farklı yağ oranında ve her iki pişirme yönteminde nem tutma değerlerinin pişirme seviyesinden önemli derecede etkilendiği ve pişirme seviyesi yükseldikçe nem tutma değerlerinin azaldığı belirlenmiştir ($p<0,05$). Diğer yandan %10 yağ oranı kullanılarak üretilen ve az pişirilmiş örneklerde pişirme yönteminin nem tutma değeri üzerinde etkili olmadığı, orta ve çok pişirilmiş örneklerde ise mangalda pişirilen sucukların ısıtıcı plakada pişirilenlere göre daha yüksek nem tutma değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$). Bununla birlikte %20 ve %30 yağlı ısıl işlem görmüş sucuklar için tüm pişirme seviyelerinde mangalda pişirmeye ısıtıcı plakaya göre daha yüksek nem tutma değerleri elde edilmiştir ($p<0,05$). Isıtıcı plakada pişirmede tüm pişirme seviyeleri için farklı yağ oranı kullanımı nem tutma üzerinde etkili olmuş ve yağ oranı arttıkça nem tutma değeri azalmıştır ($p<0,05$). Mangalda pişirme işleminde ise az pişirilmiş örnekler için yağ oranı nem tutma üzerinde etkili olmamış, ancak orta ve çok pişirilmiş örneklerde yağ oranı arttıkça nem tutmada azalma meydana gelmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen nem tutma değerlerine ait pişirme yöntemi x pişirme seviyesi x yağ oranı interaksyonu (^{a-c}: Aynı yağ oranında farklı pişirme seviyelerinde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$), ^{A-C}: Aynı pişirme yöntemi için farklı yağ oranlarında farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$), ^{x-y}: Aynı yağ oranı ve pişirme seviyesinde farklı pişirme yönteminde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$))

Yağ Tutma

Araştırma kapsamında ısıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen yağ tutma değerlerine ait veriler Tablo 17’de sunulmuştur. Isıtıcı plakada ve mangalda pişirme işlemlerinde %10, %20 ve %30 yağ oranına sahip sucuklarda elde edilen yağ tutma değerleri pişirme seviyesine bağlı olarak değişim göstermiştir. Tablo 18’de verilen ısıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen yağ tutma değerlerine ait varyans analiz sonuçlarına göre pişirme yöntemi, yağ oranı ve pişirme seviyesi yağ tutma üzerinde önemli seviyede etkili olmuştur ($p<0,01$). Ayrıca bu değişkenler arasındaki ikili ve üçlü interaksiyonların da yağ tutma değerini farklı seviyelerde etkilediği görülmüştür.

Tablo 17. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen Yağ Tutma Değerleri (%)

Pişirme Yöntemi	Yağ Oranı	Pişirme Seviyesi	Blok	
			1	2
Isıtıcı Plaka	%10	Az	78,81	90,57
			78,14	89,53
		Orta	66,86	73,65
			66,42	75,02
		Çok	58,60	70,64
			59,99	69,46
	%20	Az	66,95	71,39
			66,51	70,89
		Orta	49,94	54,15

Tablo 17. (devamı)

Mangal	%30	Çok	49,39	55,13
			46,65	46,33
			47,16	46,56
		Az	62,90	61,94
			62,80	60,81
		Orta	51,37	41,74
			51,37	40,91
	%20	Çok	43,71	40,61
			44,61	40,03
			102,07	107,39
		Az	102,11	107,16
			84,22	98,07
		Orta	84,10	98,75
			80,22	85,26
		Çok	81,43	84,21
	%10	Az	91,98	92,83
			92,72	92,62
			67,58	65,70
		Orta	67,81	66,08
			54,32	58,57
		Çok	54,50	58,31
	%30	Az	96,07	79,27
			96,05	81,02
			58,52	53,54
		Orta	57,08	53,79
			46,15	45,91
		Çok	47,36	45,35

Tablo 18. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen Yağ Tutma Değerlerinin Varyans Analizi Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KO	F
Piştirme Yöntemi (PY)	1	4778,835	259,918**
Yağ Oranı (YO)	2	4418,258	240,306**
Piştirme Seviyesi (PS)	2	4659,393	253,421**
Blok (B)	1	44,683	2,430
PY x YO	2	67,045	3,647*
YO x PS	4	79,028	4,298**
PY x PS	2	251,477	13,678**
PY x YO x PS	4	57,553	3,130*
Hata	53	18,386	-
Genel	72	-	-

**p<0,01 *p<0,05

Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen yağ tutma değerlerine ait ortalamalar ile Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları Tablo 19’da verilmiştir. En yüksek ortalama yağ tutma değeri %10 yağlı ısıl işlem görmüş sucuklarda belirlenmişken, yağ oranı arttıkça yağ tutma değerinin de azaldığı görülmüştür. Bu durumun daha yüksek yağlı örneklerde pişirme işlemi sırasında daha yüksek oranda yağ kaybından kaynaklandığı söylenebilir. Nitekim, yüksek yağlı et ürünlerinde yağ damlacıkları arasındaki ortalama serbest mesafenin daha az olmasından dolayı yağın bir araya gelerek üründen sızmasının kolaylaştığı bildirilmiştir. Ayrıca az yağlı ürünlerde yoğun et proteini matrisinin yağ kaybını önlediği de ifade edilmiştir (Tornberg *et al.* 1989). Farklı et ürünlerinde artan yağ oranına bağlı olarak yağ tutma değerinin azaldığı diğer bazı çalışmalarda da bildirilmiştir (Cannel *et al.* 1989; Anderson and Berry 2001; Serdaroğlu 2006; Soncu *et al.* 2015). Araştırmada beklendiği üzere daha yüksek pişirme seviyelerinde örneklerdeki yağ tutma değerlerinin azaldığı belirlenmiştir (Tablo 19). Bu durum muhtemelen artan pişirme seviyelerine bağlı olarak uygulanan daha yüksek pişirme sürelerinden kaynaklanmıştır. Diğer yandan mangalda pişirme işlemi ısıtıcı plakada pişirme yöntemine göre daha yüksek yağ tutma değerlerinin elde edilmesine neden olmuştur. Bunun nedeninin ise pişirme yöntemlerine bağlı olarak uygulanan farklı pişirme sürelerinden kaynaklandığı düşünülmüştür. Serrano *et al.* (2007) tarafında yapılan bir çalışmada farklı yağ oranlarına sahip sığır bifteklerde farklı pişirme yöntemlerinin yağ tutma değerinde farklılığa yol açtığı bildirilmiştir.

Tablo 19. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen Yağ Tutma Değerlerine Ait Ortalamalar ile Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları

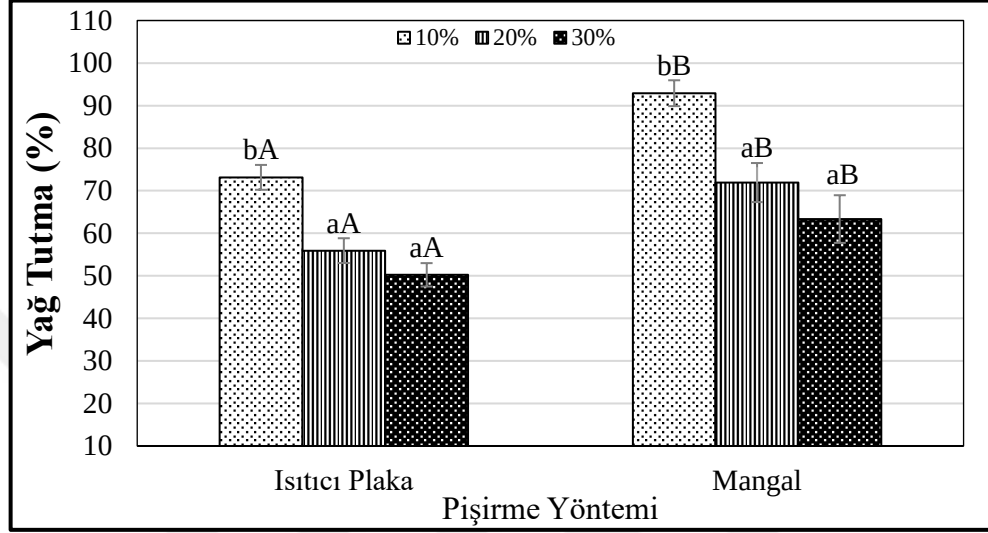
Yağ Oranı	Yağ Tutma (%)
%10	83,03±2,91 ^c
%20	63,92±3,14 ^b
%30	56,79±3,34 ^a
Pişirme Yöntemi	
Isıtıcı plaka	59,76±2,30 ^a
Mangal	76,06±3,30 ^b
Pişirme Seviyesi	
Az	83,44±3,11 ^c
Orta	63,80±3,20 ^b
Çok	56,50±2,96 ^a

^{a-c}: Farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır (p<0,05).

±: standart hata

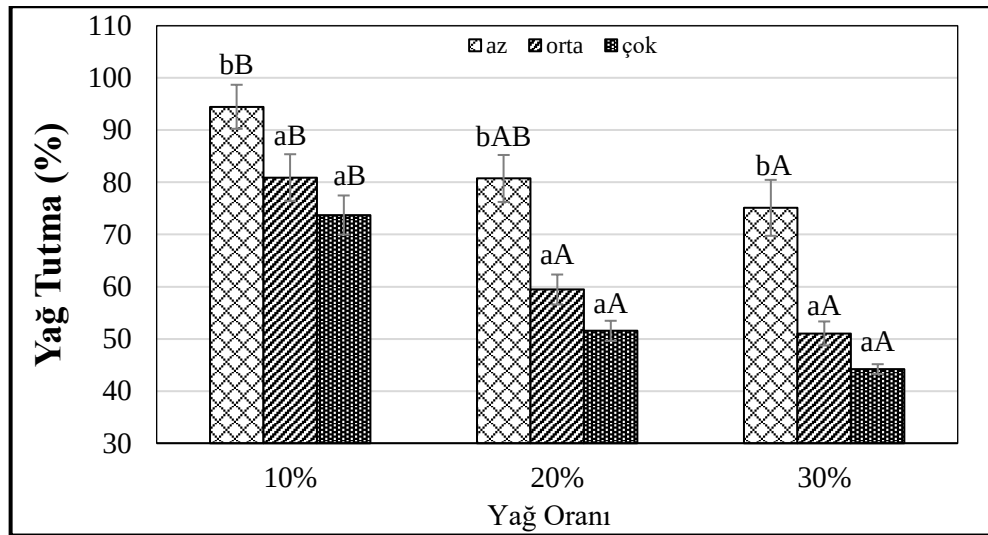
Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen yağ tutma değerleri üzerine pişirme yöntemi x yağ oranı interaksiyonunun etkisi Şekil 9’da verilmiştir. Mangalda pişirilen ısıl işlem görmüş

sucuklar için belirlenen yağ tutma değerlerinin, üç farklı yağ oranında da ısıtıcı plakada pişirilenlere göre daha yüksek olduğu bulunmuştur ($p<0,05$). Ayrıca hem ısıtıcı plakada hem de mangalda pişirme yönteminde yağ tutma değerleri yağ oranı artışıyla azalma göstermiş olup en yüksek yağ tutma değerleri %10 yağ oranına sahip örneklerde belirlenmiştir ($p<0,05$). Ancak iki pişirme yönteminde de %20 ve %30 yağ oranlı ısıl işlem görmüş sucukların yağ tutma değerleri arasındaki farklılığın istatistiki açıdan önemli olmadığı tespit edilmiştir ($p>0,05$).



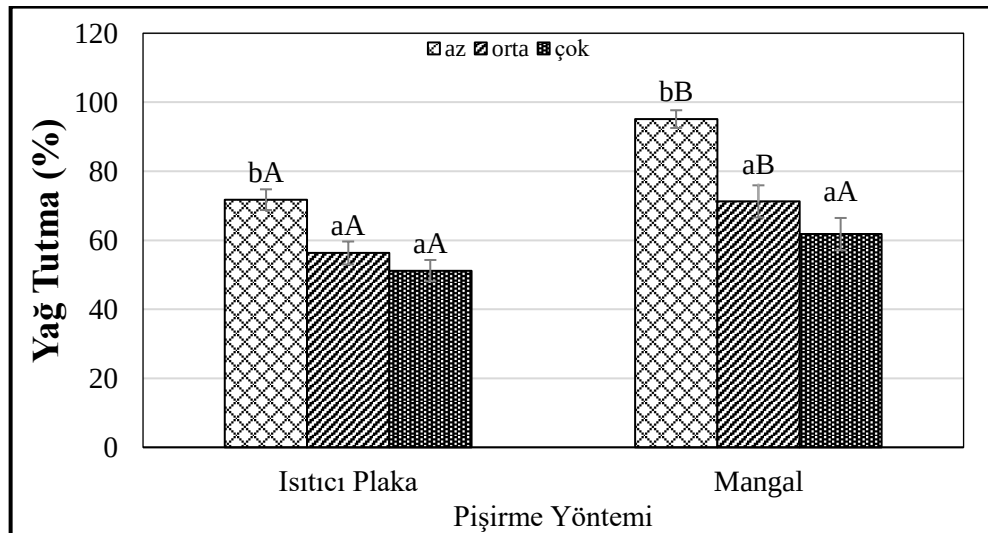
Şekil 9. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen yağ tutma değerlerine ait piştirme yöntemi x yağ oranı etkileşimini (^{a-b}: Aynı piştirme yönteminde farklı yağ oranlarında farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$), ^{A-B}: Aynı piştirme seviyesinde farklı yağ oranlarında farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$))

Şekil 10'da ısıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen yağ tutma değerleri üzerine yağ oranı x piştirme seviyesi etkileşiminin etkisi gösterilmiştir. Çalışmada az seviyede pişirilen ısıl işlem görmüş sucuklar için üretimde kullanılan yağ oranı arttıkça yağ tutma değerinin azaldığı ve en düşük yağ tutma değerinin %30 yağ oranına sahip örneklerde elde edildiği belirlenmiştir ($p<0,05$). Bununla birlikte orta ve çok pişmiş seviyeleri için en yüksek yağ tutma değerlerinin %10 yağ oranıyla üretilen ısıl işlem görmüş sucuklarda olduğu tespit edilmiştir ($p>0,05$). Diğer yandan tüm yağ oranlarında piştirme seviyesine bağlı olarak yağ tutma değerlerinin azaldığı, fakat orta ve çok piştirme seviyelerinde meydana gelen azalmanın istatistiki olarak önemli olmadığı belirlenmiştir ($p>0,05$).



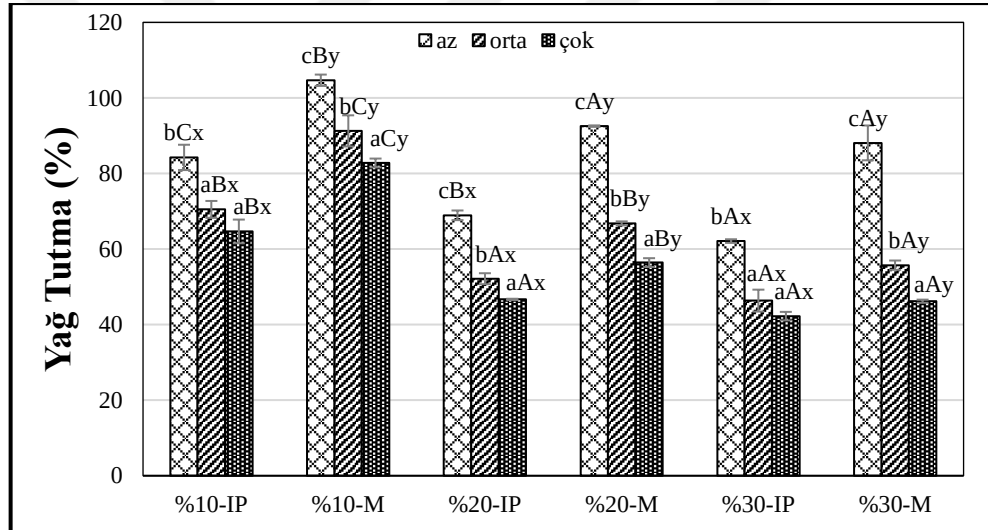
Şekil 10. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen yağ tutma değerlerine ait yağ oranı x pişirme seviyesi interaksyonu (^{a-b}: Aynı yağ oranında farklı pişirme seviyelerinde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$), ^{A-B}: Aynı pişirme seviyesinde farklı yağ oranlarında farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$))

Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen yağ tutma değerleri üzerine pişirme yöntemi x pişirme seviyesi interaksyonunun etkisi Şekil 11’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere az ve orta pişirme seviyelerinde mangalda pişirme için daha yüksek yağ tutma değerleri belirlenmişken, çok pişmiş seviyesinde önemli bir farklılık görülmemiştir. Bununla birlikte her iki pişirme yönteminde pişirme seviyesi arttıkça yağ tutma değerinin de azaldığı ancak orta ve çok pişirme seviyeleri arasındaki farklılığın istatistiksel olarak önemli bulunmadığı tespit edilmiştir ($p>0,05$).



Şekil 11. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen yağ tutma değerlerine ait pişirme yöntemi x pişirme seviyesi interaksyonu (^{a-b}: Aynı pişirme yönteminde farklı pişirme seviyelerinde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$), ^{A-B}: Aynı pişirme seviyesinde farklı pişirme yönteminde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$))

Piştirme yöntemi x yağ oranı x piştirme seviyesi interaksiyonunun ısıtma işlem görmüş sucukların yağ tutma değerleri üzerine etkisi Şekil 12’de verilmiştir. Farklı yağ oranlarına sahip ısıtma işlem görmüş sucuklar için tüm piştirme seviyelerinde mangalda piştirme yönteminin daha yüksek yağ tutma değerlerine neden olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$). Diğer taraftan ısıtıcı plakada piştirme işleminde üç farklı piştirme seviyesinde de yağ oranı arttıkça yağ tutma değerinin azaldığı belirlenmiştir ($p<0,05$). Ancak %20 ve %30 yağ oranına sahip ısıtma işlem görmüş sucukların orta ve çok pişmiş seviyelerinde belirlenen yağ tutma değerleri arasındaki farklılığın istatistiksel olarak önemli olmadığı tespit edilmiştir. Benzer bir durum mangalda az seviyede pişirilen %20 ve %30 yağlı örneklerde belirlenmiş, %10 yağlı örneklerde daha yüksek yağ tutma değeri elde edilmiştir. Bununla birlikte ısıtma işlem görmüş sucukların mangalda farklı seviyelerde pişirilmesiyle yağ tutma değerleri yağ oranındaki artışla azalmıştır. Ancak ısıtıcı plaka için %10 ve %30 yağ oranına sahip örneklerde orta ve çok pişmiş dereceleri arasında önemli bir farklılığın olmadığı belirlenmiştir (Şekil 12).



Şekil 12. Isıtma işlem görmüş sucuklarda belirlenen yağ tutma değerlerine ait piştirme yöntemi x yağ oranı x piştirme seviyesi interaksiyonu (^{a-c}: Aynı yağ oranında farklı piştirme seviyelerinde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiksel açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$), ^{A-C}: Aynı piştirme yöntemi için farklı yağ oranlarında farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiksel açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$), ^{x-y}: Aynı yağ oranı ve piştirme seviyesinde farklı piştirme yönteminde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiksel açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$))

Piştirme Verimi

Piştirme işlemi esnasında nem ve yağda meydana gelen değişiklikler piştirme verimini etkileyebilmektedir. Farklı yağ oranlarıyla üretilen ısıtma işlem görmüş sucuklarda farklı piştirme yöntemi ve piştirme seviyelerinde belirlenen piştirme verimi değerleri Tablo 20’de, bu değerlere ait varyans analizi sonuçları ise Tablo 21’de verilmiştir. Tablodan görüldüğü üzere piştirme yöntemi, yağ oranı ve piştirme seviyesinin piştirme verimi üzerinde önemli seviyede etkili

olduğu tespit edilmiştir ($p<0,01$). Bununla birlikte yağ oranı x pişirme seviyesi, pişirme yöntemi x pişirme seviyesi ve pişirme yöntemi x yağ oranı x pişirme seviyesi interaksiyonlarının da pişirme verimi üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir.

Tablo 20. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen Pişirme Verimi Değerleri (%)

Pişirme Yöntemi	Yağ Oranı	Pişirme Seviyesi	Blok	
			1	2
Isıtıcı Plaka	%10	Az	87,62	87,62
			87,03	89,14
		Orta	74,90	76,17
			75,23	76,77
		Çok	64,28	67,83
			65,15	66,48
	%20	Az	81,66	82,88
			81,47	84,19
		Orta	66,65	68,32
			66,77	66,45
		Çok	58,77	58,71
			59,19	57,44
Mangal	%30	Az	74,97	75,36
			74,61	74,98
		Orta	62,37	58,25
			62,90	59,61
		Çok	54,45	54,21
			53,19	56,12
	%10	Az	91,73	92,45
			91,77	92,73
		Orta	83,88	85,77
			83,76	86,35
		Çok	78,71	76,88
			79,90	77,65
Mangal	%20	Az	90,94	90,58
			91,77	90,91
		Orta	77,51	81,44
			79,06	81,40
		Çok	67,98	64,56
			65,81	64,99
	%30	Az	91,03	87,69
			91,56	88,05
		Orta	67,20	66,98
			66,36	66,57
		Çok	55,25	59,18
			56,88	59,14

Tablo 21. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen Pişirme Veriminin Varyans Analizi Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KO	F
Piştirme Yöntemi (PY)	1	1357,900	787,789**
Yağ Oranı (YO)	2	1086,037	630,067**
Piştirme Seviyesi (PS)	2	3196,171	1854,267**
Blok (B)	1	1,850	1,073
PY x YO	2	4,017	2,330
YO x PS	4	57,201	33,185**
PY x PS	2	5,427	3,149*
PY x YO x PS	4	57,714	33,483**
Hata	53	1,724	-
Genel	72	-	-

**p<0,01, *p<0,05

Tablo 22’de ısıtıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen piştirme verimine ait ortalamalar ile Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları sunulmuştur. Isıl işlem görmüş sucuklarda kullanılan yağ oranı arttıkça piştirme veriminde azalma olmuş ve en düşük ortalama piştirme verimi %67,37±2,51 olarak %30 yağlı grupta belirlenmiştir (p<0,05). Serdaroğlu (2006) tarafından köfteler üzerinde yapılan araştırmada yağ oranının %5’ten %10’a yükseltilmesinin bu çalışmaya benzer şekilde piştirme veriminde düşüşe neden olduğu ifade edilmiştir. Benzer sonuçlar başka çalışmalarda da bildirilmiştir (Anderson and Berry 2001; Soncu *et al.* 2015). Diğer yandan Suman and Sharma (2003) ise yaptıkları bir çalışmada, üç farklı yağ oranında (%6, 8 ve 10) manda eti köfteleri üretmişler ve piştirme veriminin yağ oranına bağlı olarak önemli bir değişim göstermediğini tespit etmişlerdir.

Uygulanan piştirme yöntemlerinin piştirme verimi değerinde önemli farklılığa neden olduğu ve mangalda piştirme yönteminde ısıtıcı plakaya göre daha yüksek piştirme verimi değerlerinin elde edildiği görülmüştür (p<0,05). Bu durum muhtemelen mangalda piştirme işlemi esnasında örneklerin yüzeyinde kabuk oluşmasından kaynaklı daha düşük nem ve yağ kaybından ileri gelmiştir. Ayrıca piştirme yöntemine bağlı olarak uygulanan sürenin de etkili olduğu söylenebilir. Bununla birlikte farklı yağ oranlarına sahip ısıtıl işlem görmüş sucukların farklı seviyelerde pişirilmesi sırasında piştirme seviyesi arttıkça piştirme veriminin azaldığı tespit edilmiştir (p<0,05). Benzer şekilde Aşçıoğlu (2013) tarafından yapılan bir çalışmada da farklı piştirme yöntemlerinin sığır bonfilelerin piştirme veriminde farklılığa yol açtığı bildirilmiştir.

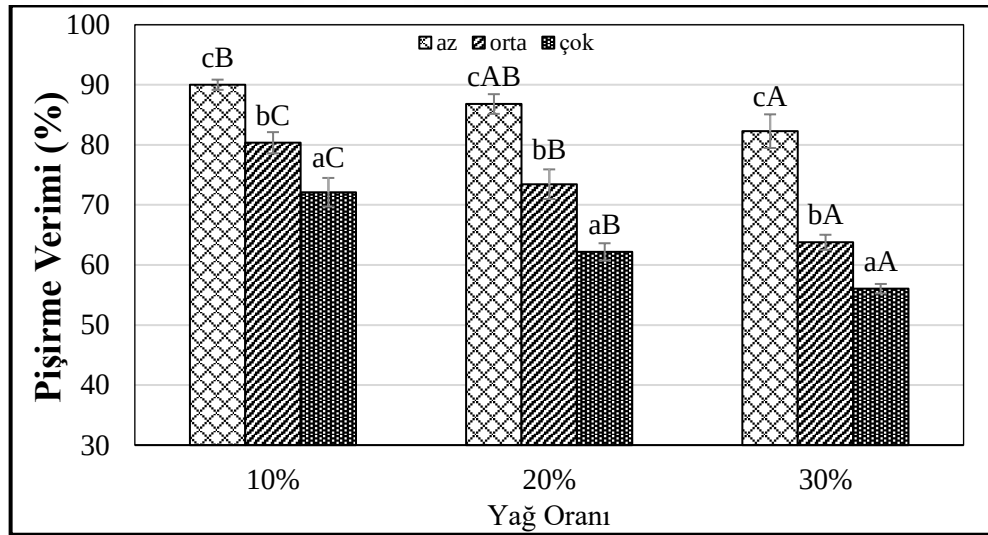
Tablo 22. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen Pişirme Verimine Ait Ortalamalar ile Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları

Yağ Oranı	Piştirme Verimi (%)
%10	80,82±1,81 ^c
%20	74,14±2,34 ^b
%30	67,37±2,51 ^a
Piştirme Yöntemi	
Isıtıcı plaka	69,77±1,80 ^a
Mangal	78,46±2,00 ^b
Piştirme Seviyesi	
Az	86,36±1,26 ^c
Orta	72,53±1,76 ^b
Çok	63,45±1,66 ^a

^{a-c}: Farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır (p<0,05).

±: standart hata

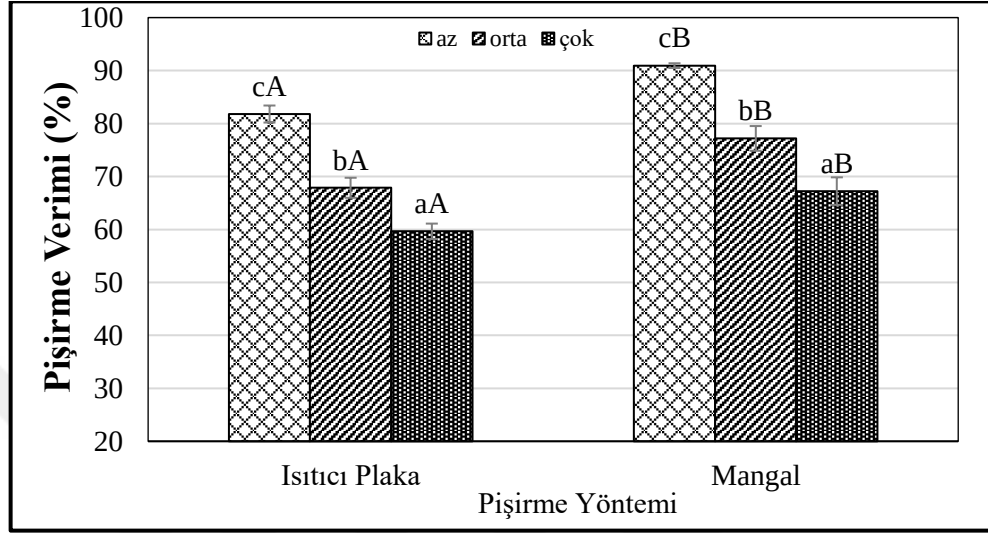
Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen piştirme verimi üzerine yağ oranı x piştirme seviyesi interaksyonunun etkisi Şekil 13'te verilmiştir. Isıl işlem görmüş sucuk üretiminde kullanılan üç farklı yağ oranında da piştirme seviyesi arttıkça piştirme veriminin azaldığı tespit edilmiştir (p<0,05). Ayrıca az, orta ve çok piştirme seviyeleri için farklı yağ oranlarında piştirme veriminin önemli seviyede değiştiği, piştirme veriminin tüm piştirme seviyeleri için yağ oranı arttıkça azaldığı bulunmuştur (Şekil 13).



Şekil 13. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen piştirme verimlerine ait yağ oranı x piştirme seviyesi interaksyonu (^{a-c}: Aynı yağ oranında farklı piştirme seviyelerinde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır (p<0,05), ^{A-C}: Aynı piştirme seviyesinde farklı yağ oranlarında farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır (p<0,05))

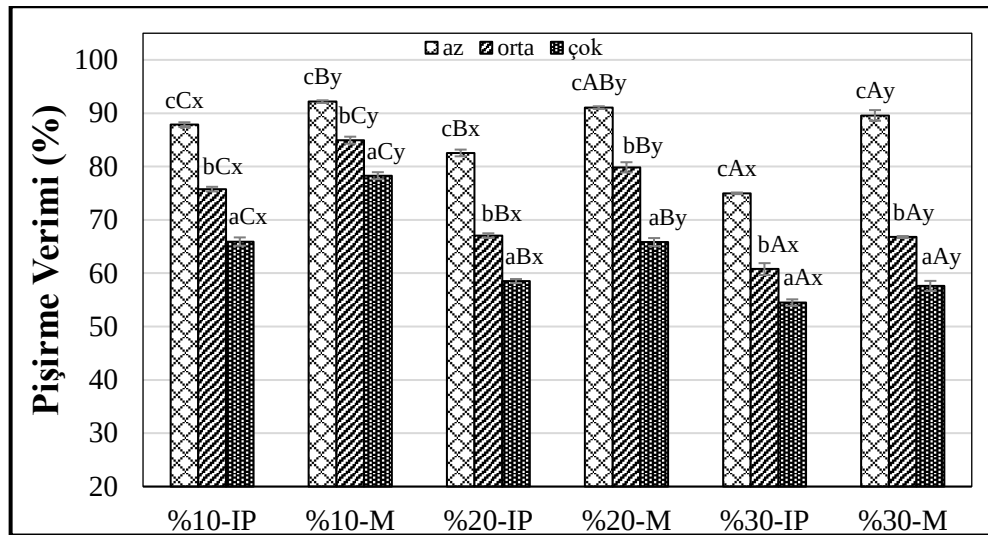
Şekil 14'te ısıtıcı plaka ve mangal piştirme yöntemleri için belirlenen piştirme verimi değerleri üzerine piştirme yöntemi x piştirme seviyesi interaksyonunun etkisi gösterilmiştir. Farklı piştirme

yöntemi kullanılarak farklı seviyelerde pişirilen sucukların pişirme verimi önemli seviyede değişiklik göstermiş, mangalda pişirme yönteminde daha yüksek değerler elde edilmiştir. Bununla birlikte hem ısıtıcı plakada hem de mangalda pişirme yönteminde ısıl işlem görmüş sucukların pişirme seviyesi arttıkça pişirme veriminin önemli seviyede azaldığı belirlenmiştir ($p<0,05$).



Şekil 14. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen pişirme verimlerine ait pişirme yöntemi x pişirme seviyesi etkileşimi (^{a-b}: Aynı pişirme yönteminde farklı pişirme seviyelerinde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$), ^{A-B}: Aynı pişirme seviyesinde farklı pişirme yönteminde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$))

Piştirme verimi üzerine piştirme yöntemi x yağ oranı x piştirme seviyesi etkileşiminin etkisi ise Şekil 15'te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere %10, %20 ve %30 yağ oranlarında hem ısıtıcı plakada hem de mangalda farklı piştirme seviyeleri piştirme verimini önemli seviyede etkilemiş ve piştirme seviyesi arttıkça piştirme verimi düşmüştür ($p<0,05$). Ayrıca her iki piştirme yönteminde de az, orta ve çok piştirme seviyelerinde yağ oranı arttıkça piştirme verimi azalmıştır ($p<0,05$). Diğer yandan ısıl işlem görmüş sucuklarda üç farklı yağ oranı için de piştirme yöntemi piştirme verimi üzerinde önemli seviyede etkili olmuş ve mangalda piştirme yöntemi ısıtıcı plakaya kıyasla daha yüksek piştirme verimi sağlamıştır ($p<0,05$).



Şekil 15. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen pişirme verimlerine ait pişirme yöntemi x yağ oranı x pişirme seviyesi interaksyonu (^{a-c}: Aynı yağ oranında farklı pişirme seviyelerinde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$), ^{A-C}: Aynı pişirme yöntemi için farklı yağ oranlarında farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$), ^{x-y}: Aynı yağ oranı ve pişirme seviyesinde farklı pişirme yönteminde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$))

PAH Analizi Sonuçları

PAH4

EFSA tarafından dört PAH bileşiğinin (PAH4: BaP, BaA, BbF ve Chr) gıdalardaki PAH oluşumu ve toksisitesi için bir gösterge olarak kullanılabileceği bildirilmektedir (Afe *et al.* 2020). Bunlar arasından BaP, IARC tarafından belirlenen öncelikli kirleticiler listesinde 1. grupta (insanlar için kanserojen) yer alırken, diğer üçü 2B grubunda (insanlar için muhtemelen kanserojen) sınıflandırılmıştır. Farklı yağ oranlarıyla üretilen ısıtılmış sucuklarda farklı pişirme yöntemi ve pişirme seviyelerinde belirlenen BaP, BaA, BbF ve Chr ile toplam PAH4 miktarları Tablo 23'te verilmiştir. Isıtıcı plakada çok pişmiş seviyesinde pişirilen ısıtılmış sucuklarda PAH4 miktarı 2,16-12,36 µg/kg arasında belirlenmişken, mangalda çok pişmiş derecesi uygulanan örneklerde 24,86-51,62 µg/kg arasında tespit edilmiştir. Bununla birlikte PAH4 miktarı %10 yağlı ısıtılmış sucuklarda 0,87-36,88 µg/kg, %20 yağlı olan örneklerde 1,36-42,85 µg/kg, %30 yağlı olan örneklerde ise 2,93-51,62 µg/kg arasında bulunmuştur.

Tablo 23. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen PAH4 Miktarları (µg/kg)

Piştirme Yöntemi	Yağ Oranı	Piştirme Seviyesi	Blok	BaP	BaA	BbF	Chr	PAH4
Isıtıcı plaka	%10	Çiğ	1	nd	0,32	0,42	0,13	0,87
				0,40	0,33	0,44	0,68	1,85
				0,08	0,28	0,60	0,22	1,18
			2	0,24	0,24	0,64	0,64	1,76
		Az	1	0,39	0,38	2,69	0,80	4,26
				0,38	0,34	0,42	0,46	1,60
				0,11	0,32	0,39	0,45	1,27
			2	0,21	0,31	0,80	0,23	1,55
		Orta	1	0,28	0,24	0,74	0,91	2,17
				0,37	0,28	0,43	0,30	1,38
				0,25	0,26	0,66	0,42	1,59
			2	0,29	0,54	0,66	0,78	2,27
	%20	Çok	1	0,43	3,46	0,83	nd	4,72
				0,32	1,34	0,60	1,39	3,65
				0,24	1,06	0,88	1,51	3,69
			2	0,57	2,40	0,61	0,90	4,48
		Çiğ	1	0,36	0,30	0,54	0,90	2,10
				0,15	0,23	0,79	0,43	1,60
				0,30	0,24	0,48	0,41	1,43
			2	0,28	0,25	0,49	0,34	1,36
		Az	1	0,11	0,39	0,41	0,51	1,42
				0,16	0,31	0,53	0,43	1,43
				0,24	0,33	0,56	0,76	1,89
			2	0,13	0,76	0,70	nd	1,59
		Orta	1	0,14	0,37	0,90	0,62	2,03
				0,22	1,72	0,81	0,84	3,59
				0,12	0,91	0,76	0,69	2,48
			2	0,34	0,40	0,73	nd	1,47
		Çok	1	0,51	0,73	0,73	0,85	2,82
				0,46	0,84	0,86	nd	2,16
			2	0,44	1,52	0,60	0,96	3,52
				0,53	2,77	0,82	0,63	4,75

Tablo 23. (devam)

Isıtıcı plaka	%30	Çiğ	1	0,55	1,26	0,45	2,57	4,83
				0,12	1,25	0,51	1,05	2,93
			2	0,25	3,57	0,41	2,44	6,67
				0,47	2,49	0,77	1,27	5,00
		Az	1	0,50	6,61	0,59	1,22	8,92
				0,51	6,70	0,83	2,38	10,42
			2	0,50	8,79	0,82	3,81	13,92
				1,43	7,66	0,79	1,48	11,36
		Orta	1	0,12	7,83	0,80	1,98	10,73
				1,13	9,52	0,73	0,64	12,02
			2	0,96	4,67	1,01	1,57	8,21
				0,93	7,59	0,50	1,96	10,98
Mangal	%10	Çok	1	0,88	9,09	1,10	1,29	12,36
				1,11	7,41	1,18	0,41	10,11
			2	0,47	7,86	0,88	2,35	11,56
				1,57	5,94	1,32	1,35	10,18
		Çiğ	1	nd	0,32	0,42	0,13	0,87
				0,40	0,33	0,44	0,68	1,85
			2	0,08	0,28	0,60	0,22	1,18
				0,24	0,24	0,64	0,64	1,76
		Az	1	0,07	1,09	0,89	0,22	2,27
				0,25	1,38	1,42	0,13	3,18
			2	0,40	3,54	1,31	0,64	5,89
				0,32	2,63	0,99	0,80	4,74
		Orta	1	0,49	2,37	0,95	0,47	4,28
				0,56	5,80	1,45	0,31	8,12
			2	0,53	5,76	0,82	1,19	8,30
				0,45	4,30	1,10	1,09	6,94
		Çok	1	0,57	20,88	1,57	1,84	24,86
				1,23	33,31	0,99	1,35	36,88
			2	1,68	21,58	1,01	1,97	26,24
				0,86	30,08	1,69	1,39	34,02

Tablo 23. (devam)

Mangal	%20	Çiğ	1	0,36	0,30	0,54	0,90	2,10
				0,15	0,23	0,79	0,43	1,60
			2	0,30	0,24	0,48	0,41	1,43
				0,28	0,25	0,49	0,34	1,36
		Az	1	0,53	1,09	0,92	0,45	2,99
				0,22	4,33	1,00	0,50	6,05
			2	0,65	4,09	1,59	0,25	6,58
				0,41	5,11	1,70	0,11	7,33
		Orta	1	0,60	6,84	1,40	0,72	9,56
				0,57	8,33	1,21	0,39	10,5
			2	0,42	7,42	0,91	0,54	9,29
				0,80	9,33	0,84	1,17	12,14
	%30	Çok	1	1,57	30,52	1,94	1,12	35,15
				0,84	29,48	1,74	1,92	33,98
			2	3,98	35,48	1,75	1,64	42,85
				1,60	34,45	0,80	1,04	37,89
		Çiğ	1	0,55	1,26	0,45	2,57	4,83
				0,12	1,25	0,51	1,05	2,93
			2	0,25	3,57	0,41	2,44	6,67
				0,47	2,49	0,77	1,27	5,00
		Az	1	0,25	10,6	1,01	0,55	12,41
				0,61	10,31	1,16	1,33	13,41
			2	0,14	11,81	0,99	0,31	13,25
				0,55	12,00	1,09	0,44	14,08
	%40	Orta	1	2,44	10,25	1,81	1,19	15,69
				2,12	10,59	1,89	1,94	16,54
			2	1,20	17,01	1,79	1,20	21,20
				2,71	21,28	1,84	1,26	27,09
		Çok	1	4,95	31,09	3,41	4,06	43,51
				1,22	45,11	1,39	3,90	51,62
			2	1,65	33,19	1,22	2,05	38,11
				1,95	37,35	1,51	3,35	44,16

Tablo 24’te ısıtıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen BaP, BaA, BbF ve Chr ile toplam PAH4 içeriklerine ait varyans analizi sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlara göre pişirme yöntemi, yağ oranı ve pişirme seviyesi BaP ve BaA ile toplam PAH4 miktarları üzerinde önemli seviyede etkili olmuştur ($p<0,01$). Bununla birlikte BbF miktarının pişirme yöntemi ve pişirme seviyesinden, Chr miktarının ise yağ oranı ve pişirme seviyesinden önemli seviyede etkilendiği görülmüştür ($p<0,01$). Ayrıca toplam PAH4 miktarı üzerinde pişirme yöntemi x yağ oranı ikili etkileşiminin $p<0,05$ düzeyinde, yağ oranı x pişirme seviyesi ve pişirme yöntemi x pişirme seviyesi ikili etkileşimlerinin ise $p<0,01$ düzeyinde etkili olduğu belirlenmiştir. Portekiz’de üretilen geleneksel kuru fermente bir sosis çeşidi üzerinde yapılan bir çalışmada da üretimde kullanılan farklı yağ oranlarının toplam PAH4 miktarı üzerinde önemli seviyede etkili olduğu, bununla birlikte sosislerdeki BaP miktarlarının yağ oranından önemli seviyede etkilenmediği rapor edilmiştir (Gomes *et al.* 2013).

Tablo 24. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen PAH4 Miktarlarına Ait Varyans Analizi Sonuçları

BaP			
Varyasyon Kaynağı	SD	KO	F
Piştirme Yöntemi (PY)	1	5,060	18,803**
Yağ Oranı (YO)	2	3,374	12,536**
Piştirme Seviyesi (PS)	3	4,582	17,028**
Blok (B)	1	0,070	0,262
PY x YO	2	0,340	1,265
YO x PS	6	0,592	2,198
PY x PS	3	2,095	7,784**
PY x YO x PS	6	0,332	1,235
Hata	71	0,269	-
Genel	96	-	-
BaA			
Varyasyon Kaynağı	SD	KO	F
Piştirme Yöntemi (PY)	1	2091,880	381,385**
Yağ Oranı (YO)	2	389,390	70,992**
Piştirme Seviyesi (PS)	3	1298,563	236,750**
Blok (B)	1	13,749	2,507
PY x YO	2	17,995	3,281*
YO x PS	6	23,265	4,242**
PY x PS	3	985,480	179,670**
PY x YO x PS	6	4,443	0,810
Hata	71	5,485	-
Genel	96	-	-

Tablo 24. (devamı)

BbF			
Varyasyon Kaynağı	SD	KO	F
Piştirme Yöntemi (PY)	1	4,348	31,833**
Yağ Oranı (YO)	2	0,317	2,323
Piştirme Seviyesi (PS)	3	1,983	14,522**
Blok (B)	1	0,203	1,483
PY x YO	2	0,138	1,010
YO x PS	6	0,240	1,757
PY x PS	3	0,603	4,413**
PY x YO x PS	6	0,155	1,134
Hata	71	0,137	-
Genel	96	-	-
Chr			
Varyasyon Kaynağı	SD	KO	F
Piştirme Yöntemi (PY)	1	0,658	2,284
Yağ Oranı (YO)	2	12,875	44,669**
Piştirme Seviyesi (PS)	3	2,944	10,215**
Blok (B)	1	0,041	0,143
PY x YO	2	0,054	0,188
YO x PS	6	0,194	0,674
PY x PS	3	3,149	10,926**
PY x YO x PS	6	0,844	2,929*
Hata	71	0,288	-
Genel	96	-	-
PAH4			
Varyasyon Kaynağı	SD	KO	F
Piştirme Yöntemi (PY)	1	2589,084	459,271**
Yağ Oranı (YO)	2	655,923	116,353**
Piştirme Seviyesi (PS)	3	1669,946	296,227**
Blok (B)	1	13,885	2,463
PY x YO	2	25,853	4,586*
YO x PS	6	27,147	4,815**
PY x PS	3	1221,958	216,760**
PY x YO x PS	6	8,196	1,454
Hata	71	5,637	-
Genel	96	-	-

**p<0,01, *p<0,05

Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen BaP, BaA, BbF, Chr ve toplam PAH4 miktarlarına ait ortalamalar ile Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları Tablo 25'te verilmiştir. Araştırmada, yağ oranı, piştirme yöntemi ve piştirme seviyesi dikkate alındığında PAH4 bileşikleri arasında en yüksek ortalama değerlerin BaA için elde edildiği görülmüştür.

Isıl işlem görmüş sucuklarda yağ oranı arttıkça BaA ve toplam PAH4 miktarlarının arttığı ($p<0,05$), BaP ve Chr miktarlarının ise %10 ve %20 yağlı gruplar arasında önemli bir farklılık göstermezken ($p>0,05$), %30 yağlı örneklerde artış gösterdiği tespit edilmiştir ($p<0,05$). Ayrıca BbF miktarının da yağ oranı arttıkça artış gösterdiği fakat bu artışın istatistiki olarak önemli seviyede olmadığı görülmüştür ($p>0,05$). Böylece ısıl işlem görmüş sucuk üretiminde kullanılan yağ oranının gerek piroliz nedeniyle gerekse lipofilik özellikteki PAH'ların kontaminasyonunu artırarak üründeki toplam PAH4 miktarında artışa neden olduğunu söyleyebilmek mümkündür. Ayrıca özellikle çiğ örneklerde baharat kaynaklı PAH'larında dikkate alınması gerekmektedir. Nitekim, literatürde çeşitli baharatların PAH içeriğine yönelik çalışmalara da rastlanılmaktadır (Hwang *et al.* 2019; Szternfeld *et al.* 2019; Onopiuk *et al.* 2022). Mevcut bu araştırmada, uygulanan pişirme yöntemi BaP, BaA ve BbF ile toplam PAH4 miktarları üzerinde önemli seviyede farklılık oluşturmuş ve mangalda pişirme yöntemi ısıtıcı plakada pişirmeye göre daha yüksek ortalama değerlere neden olmuştur ($p<0,05$). Isıtıcı plakada pişirilen ısıl işlem görmüş sucuklar için ortalama PAH4 miktarı $4,67\pm0,56$ olarak bulunmuşken, mangalda pişirilmiş örneklerde $15,06\pm2,10$ olarak tespit edilmiştir (Tablo 25). Bu durum muhtemelen mangalda pişirme işleminde kullanılan kömürün aleviyle örneklerin direk temasından kaynaklanmıştır. Pişirme esnasında kömür üzerine damlayan yağın pirolizi neticesinde dumanla birlikte örnek üzerine PAH'ların kontaminasyonu, mangalda pişirme işleminde daha yüksek PAH miktarına neden olmuştur. Diğer yandan Chr miktarı üzerinde pişirme yönteminin önemli bir etkisi olmamıştır ($p>0,05$). Pişirme seviyesine bağlı olarak BaA, BbF ve toplam PAH4 miktarları artış göstermiş ve en yüksek ortalama değerler çok pişmiş örneklerde bulunmuştur ($p<0,05$). Çiğ ve az pişmiş örneklerde ortalama BaP miktarları arasında önemli bir farklılık bulunmamış, fakat daha yüksek pişirme seviyelerinde daha yüksek ortalama değerler belirlenmiştir. Chr miktarı ise orta pişirme seviyesine kadar değişiklik göstermemiş, çok pişirme seviyesinde artmıştır (Tablo 25). Pişirme seviyelerine bağlı olarak PAH4 bileşiklerinin miktarındaki değişimin ısı kaynağına daha uzun süre maruziyetten kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 25. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen PAH4 Miktarlarına Ait Ortalamalar ile Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları ($\mu\text{g/kg}$)

	BaP	BaA	BbF	Chr	PAH4
Yağ Oranı					
%10	$0,40\pm0,06^a$	$4,56\pm1,55^a$	$0,88\pm0,09^a$	$0,71\pm0,09^a$	$6,55\pm1,69^a$
%20	$0,55\pm0,13^a$	$5,92\pm1,87^b$	$0,90\pm0,08^a$	$0,63\pm0,08^a$	$8,01\pm2,08^b$
%30	$1,02\pm0,18^b$	$11,17\pm1,93^c$	$1,06\pm0,11^a$	$1,77\pm0,18^b$	$15,02\pm2,20^c$

Tablo 25. (devamı)

Piştirme Yöntemi					
Isıtıcı plaka	0,43±0,05 ^a	2,55±0,44 ^a	0,73±0,05 ^a	0,96±0,11 ^a	4,67±0,56 ^a
Mangal	0,89±0,14 ^b	11,89±1,86 ^b	1,16±0,08 ^b	1,12±0,13 ^a	15,06±2,10 ^b
Piştirme Seviyesi					
Çiğ	0,27±0,03 ^a	0,90±0,22 ^a	0,54±0,03 ^a	0,92±0,16 ^a	2,63±0,37 ^a
Az	0,38±0,06 ^a	4,20±0,84 ^b	0,98±0,10 ^b	0,76±0,17 ^a	6,32±0,96 ^b
Orta	0,75±0,15 ^b	5,98±1,11 ^c	1,03±0,09 ^{bc}	0,92±0,11 ^a	8,69±1,35 ^c
Çok	1,23±0,23 ^c	17,79±3,11 ^d	1,23±0,12 ^c	1,55±0,21 ^b	21,80±3,47 ^d

^{a-d}: Farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır (p<0,05).

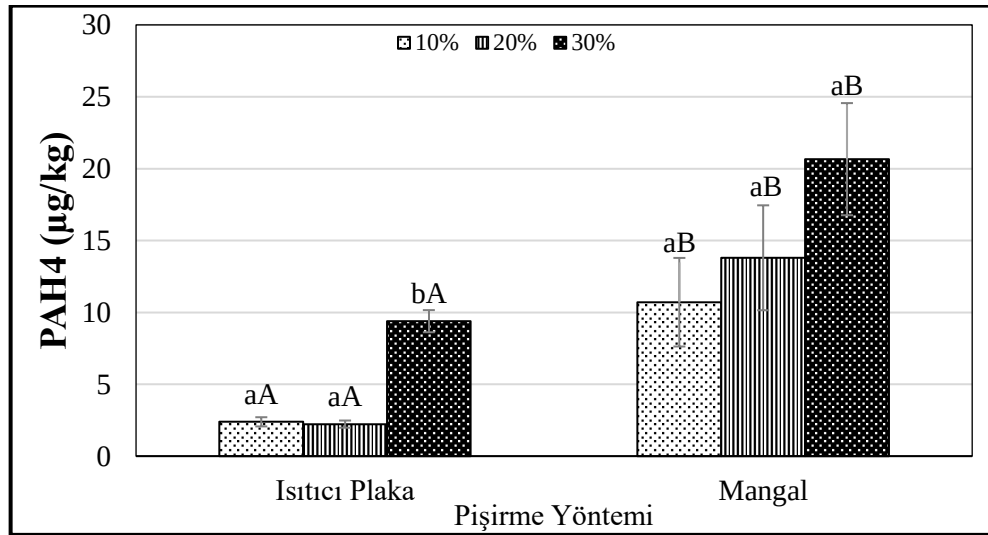
±: standart hata

Yağ oranı ve piştirme seviyesinin et ürünlerinde PAH oluşumunu etkilediği bazı araştırmalarda da tespit edilmiştir. Örneğin, Pöhlman *et al.* (2013) tarafından yapılan bir çalışmada Frankfurter tipi sosislerde farklı yağ oranlarının kullanımına bağlı olarak PAH bileşiklerinin miktarında değişimler meydana geldiği bildirilmiştir. Karşlıoğlu and Kolsarıcı (2023) kömür alevinde pişirilen yüksek yağlı döner örneklerinde BaP miktarını ortalama 4,45±0,21 µg/kg olarak bulmuşlardır. Bununla birlikte hem düşük hem de yüksek yağlı döner örneklerinde farklı piştirme yöntem ve seviyelerinde BaA bileşiğinin tespit edildiği ve mevcut bu çalışmadaki sonuçlara benzer şekilde yağ oranı arttıkça BaA miktarının da arttığı bildirilmiştir. Aynı araştırmada toplam PAH4 miktarının da tüm piştirme yöntemlerinde piştirme seviyelerine bağlı olarak artış gösterdiği ve hem yüksek hem de düşük yağlı döner örneklerinde kömürle pişirmenin daha yüksek PAH4 miktarına neden olduğu rapor edilmiştir. Li and Wu (2024) geleneksel Çin sosisinde BaP miktarını ortalama 0,15 µg/kg olarak belirlemişler ve yüksek sıcaklıkta (220°C) piştirme işlemiyle bu değerin ortalama 0,44 µg/kg'a yükseldiğini bildirmişlerdir. Ayrıca araştırmada toplam PAH4 miktarı çiğ örneklerde ortalama 1,40 µg/kg olarak bulunmuşken, yüksek sıcaklıkta pişirilen örneklerde 4,67 µg/kg olarak belirlenmiştir. Mevcut bu tez çalışmasında da yağ oranı ve piştirme seviyesinin ısıtıcı işlem görmüş sucuklarda PAH4 miktarını artırdığı tespit edilmiştir.

Piştirme yöntemlerinin farklı et ürünlerinde PAH oluşumu üzerine etkisinin belirlendiği çalışmalarda genellikle kömür ateşinde piştirme işleminin PAH miktarında artışa neden olduğu raporlanmıştır. Örneğin, Zastrow *et al.* (2019) tarafından yapılan bir çalışmada sığır etinden üretilen Frankfurter tipi sosislerin mangalda pişirilmesiyle PAH4 miktarının artış gösterdiği bildirilmiştir. Diğer bir araştırmada ise BaP miktarı, gaz ateşinde pişirilen döner örneklerinde ortalama 5,70±0,85 µg/kg, mangalda pişirilenlerde ortalama 24,2±0,48 µg/kg olarak tespit edilmiştir (Terzi *et al.* 2008). Gorji *et al.* (2016) gaz ateşinde pişirilen sığır eti kebabında BaP miktarını ortalama 1,07 µg/kg olarak bulmuşlar, ancak kömür ateşinde pişirmenin bu değeri 1,45 µg/kg'a kadar artırdığını ifade etmişlerdir. Ayrıca toplam PAH4 miktarının da benzer

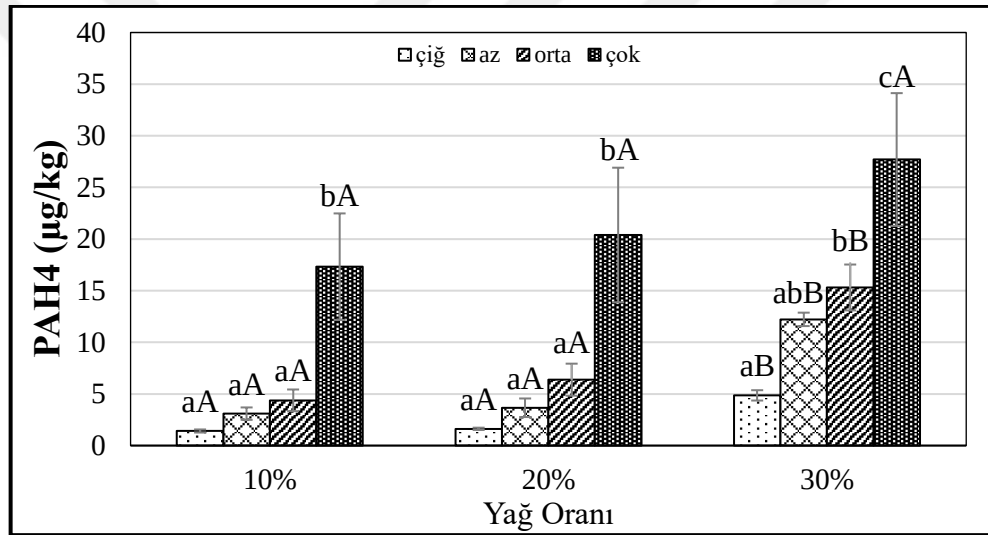
şekilde kömür kullanımıyla artış gösterdiği bildirilmiştir. Kömürde pişirilen sığır eti kebabı üzerinde yapılan bir başka çalışmada ise PAH4 miktarının 1,39-22,62 µg/kg arasında değiştiği belirtilmiştir (El Husseini *et al.* 2021). Bostan (2021) elektrikli ızgarada pişirilen Akçaabat köftelerde PAH4 miktarını 7,70-40,91 µg/kg arasında, odun kömürü ile mangalda pişirilenlerde ise 45,89-112,38 µg/kg arasında tespit etmiştir. Öz and Yüzer (2016) ise sığır etinin tel veya taş ızgaralı mangalda iyi veya çok iyi pişmiş seviyelerine kadar pişirilmesinin toplam PAH4 miktarında artışa sebebiyet verdiğini bildirmişlerdir. Başka bir çalışmada sığır ve domuz etlerinin kömürde ızgara edilerek pişirilmesiyle oluşan PAH4 miktarlarının 9,20-28,70 µg/kg arasında değiştiği bulunmuştur (Lee *et al.* 2016). Kömürde pişirilen sığır eti örneklerinde PAH miktarının daha yüksek olduğu diğer bazı çalışmalarda da rapor edilmiştir (Viegas *et al.* 2012; Rose *et al.* 2015; Büyükkurt *et al.* 2020). Mevcut bu çalışmada da mangalda kömürle pişirilen ısıtıcı plakaya göre daha yüksek PAH4 miktarları belirlenmiştir.

Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen PAH4 miktarları üzerine pişirme yöntemi x yağ oranı interaksiyonunun etkisi Şekil 16'da verilmiştir. Isıtıcı plakada pişirme yönteminde %10 ve %20 yağlı örnekler arasında önemli bir farklılık bulunmazken ($p>0,05$), %30 yağlı örneklerde PAH4 miktarı önemli seviyede artış göstermiştir ($p<0,05$). Diğer yandan mangalda pişirme yönteminde yağ oranının toplam PAH4 miktarı üzerinde etkili olmadığı ($p>0,05$), ancak tüm yağ oranlarında ısıtıcı plakada pişirmeye kıyasla önemli seviyede daha yüksek PAH4 miktarının belirlendiği görülmüştür ($p<0,05$).



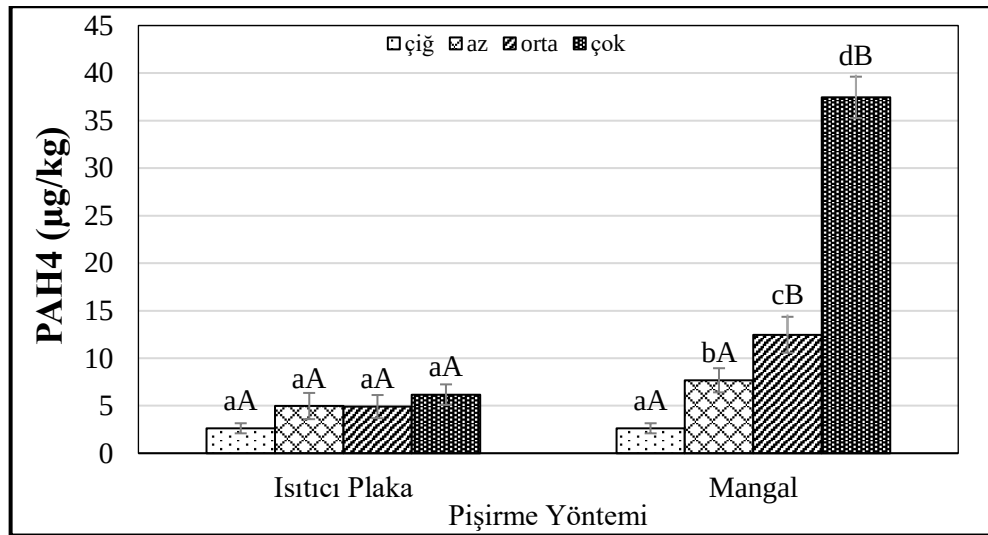
Şekil 16. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen PAH4 miktarlarına ait pişirme yöntemi x yağ oranı interaksiyonu (^{a-b}: Aynı pişirme yönteminde farklı yağ oranında farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistikî açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$), ^{A-B}: Aynı yağ oranında farklı pişirme yönteminde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistikî açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$))

Şekil 17’de ısıtılmış işlem görmüş sucuklarda belirlenen PAH4 miktarı üzerine yağ oranı x pişirme seviyesi interaksiyonunun etkisi sunulmuştur. %10 ve %20 yağlı ısıtılmış işlem görmüş sucuklarda çok pişmiş seviyesi hariç diğer seviyeler arasında önemli bir farklılığın bulunmadığı ($p>0,05$), bununla birlikte çok pişmiş seviyesinde PAH4 miktarının önemli seviyede artış gösterdiği belirlenmiştir. Diğer yandan %30 yağlı örneklerde artan pişirme seviyesine bağlı olarak toplam PAH4 miktarının önemli seviyede arttığı tespit edilmiştir ($p<0,05$). Ayrıca çiğ, az ve orta pişirme seviyeleri için %10 ve %20 yağlı örnekler arasında önemli bir farklılık bulunmamış ($p>0,05$), fakat %30 yağlı örneklerde bu pişirme seviyeleri için daha yüksek PAH4 miktarları tespit edilmiştir. Bununla birlikte en yüksek PAH4 miktarları çok pişmiş seviyesinde belirlenmiş olup, bu pişirme seviyesinde PAH4 miktarının kullanılan yağ oranından etkilenmediği görülmüştür. Bu durum daha az yağlı ve daha az pişirilmiş ısıtılmış işlem görmüş sucukların PAH4 açısından daha güvenilir olduğunu göstermektedir.



Şekil 17. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen PAH4 miktarlarına ait yağ oranı x pişirme seviyesi interaksiyonu (^{a-c}: Aynı yağ oranında farklı pişirme seviyelerinde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$), ^{A-B}: Aynı pişirme seviyesinde farklı yağ oranlarında farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$))

PAH4 miktarı üzerine pişirme yöntemi x pişirme seviyesi interaksiyonunun etkisi Şekil 18’de gösterilmiştir. Isıtıcı plakada pişirme işleminde PAH4 miktarının pişirme seviyesinden etkilenmediği ($p>0,05$), mangalda pişirme yönteminde ise pişirme seviyesi arttıkça PAH4 miktarının önemli seviyede artış gösterdiği belirlenmiştir ($p<0,05$). Diğer yandan çiğ ve az pişirilmiş örneklerin PAH4 miktarının farklı pişirme yöntemine bağlı olarak önemli seviyede değişmediği ($p>0,05$), ancak orta ve çok pişmiş seviyelerinde mangalda pişirme işleminin toplam PAH4 miktarında önemli seviyede artışa yol açtığı tespit edilmiştir ($p<0,05$). Bu durum ısıtılmış işlem görmüş sucukların özellikle mangalda pişirilmesi işleminde pişirme seviyesinin mümkün olduğunca azaltılması gerektiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 18. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen PAH4 miktarlarına ait piştirme yöntemi x piştirme seviyesi etkileşimini (a-d: Aynı piştirme yönteminde farklı piştirme seviyelerinde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiksel açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$), A-B: Aynı piştirme seviyesinde farklı piştirme yönteminde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiksel açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$))

PAH8

EFSA tarafından PAH4 bileşiklerine ek olarak gıdalardaki PAH oluşumu ve toksisitesi için farklı dört bileşiğin daha (PAH8: PAH4 + BkF, BghiP, DahA, IncdP) dikkate alınabileceği bildirilmiştir. Farklı yağ oranlarıyla üretilen ısıtıcı plakada farklı piştirme yöntemi ve piştirme seviyelerinde belirlenen BkF, BghiP, DahA ve IncdP ile toplam PAH8 miktarları Tablo 26'da verilmiştir. %10 yağlı ısıtıcı plakada PAH8 miktarı 10,10-83,60 µg/kg arasında belirlenmişken, %20 yağlı örneklerde 15,08-95,73 µg/kg, %30 yağlı örneklerde ise 22,65-128,13 µg/kg arasında tespit edilmiştir. Bununla birlikte ısıtıcı plakada çok pişmiş seviyesinde ısıtıcı plakada pişirilen sucukların PAH8 miktarının 23,42-53,34 µg/kg, mangalda pişirilenlerde ise 69,44-128,13 µg/kg arasında olduğu bulunmuştur.

Tablo 27'de ısıtıcı plakada pişirilen sucuklarda belirlenen BkF, BghiP, DahA ve IncdP ile toplam PAH8 miktarlarına ait varyans analizi sonuçları verilmiştir. Piştirme yönteminin, yağ oranının ve piştirme seviyesinin BkF, BghiP, DahA ve IncdP ile toplam PAH8 miktarı üzerinde önemli seviyede etkili olduğu görülmüştür ($p<0,01$). Bununla birlikte yağ oranı x piştirme seviyesi ve piştirme yöntemi x piştirme seviyesi etkileşimleri toplam PAH8 miktarı üzerinde önemli seviyede etkili olmuştur ($p<0,01$). Ayrıca toplam PAH8 miktarı piştirme yöntemi x yağ oranı x piştirme seviyesi etkileşiminden de $p<0,05$ düzeyinde etkilenmiştir.

Tablo 26. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen PAH8 Miktarları (µg/kg)

Piştirme Yöntemi	Yağ Oranı	Piştirme Seviyesi	Blok	BkF	BghiP	DahA	IncdP	PAH8
Isıtıcı plaka	%10	Çiğ	1	0,63	8,44	0,16	nd	10,10
				0,71	8,61	0,19	nd	11,36
			2	0,61	11,36	0,86	nd	14,01
				0,62	15,46	0,66	nd	18,50
		Az	1	0,61	18,82	0,46	nd	24,15
				0,99	17,54	0,20	nd	20,33
			2	0,93	18,21	1,23	nd	21,64
				0,76	17,81	0,49	nd	20,61
		Orta	1	0,65	22,00	0,91	nd	25,73
				nd	18,15	0,56	nd	20,09
			2	0,82	19,10	0,48	nd	21,99
				0,70	21,77	0,45	nd	25,19
	%20	Çok	1	0,83	20,00	0,68	nd	26,23
				nd	19,42	1,65	nd	24,72
			2	0,76	20,82	1,26	nd	26,53
				0,63	17,05	1,26	nd	23,42
		Çiğ	1	0,80	13,45	1,07	nd	17,42
				0,66	17,45	0,75	nd	20,46
			2	0,89	12,05	0,71	nd	15,08
				0,81	19,02	0,56	nd	21,75
		Az	1	0,80	21,07	1,17	nd	24,46
				0,95	15,14	0,21	nd	17,73
			2	0,79	17,91	0,69	nd	21,28
				1,03	20,98	0,40	nd	24,00
		Orta	1	0,86	22,27	0,85	nd	26,01
				0,64	28,66	0,52	nd	33,41
			2	0,49	18,63	0,87	nd	22,47
				0,63	18,77	0,92	nd	21,79
		Çok	1	0,97	25,56	1,35	nd	30,70
				1,02	26,50	1,25	nd	30,93
			2	0,86	31,26	0,68	nd	36,32
				0,74	24,03	1,47	nd	30,99

Tablo 26. (devam)

Isıtıcı plaka	%30	Çiğ	1	0,70	25,20	1,82	nd	32,55
				0,62	23,29	1,64	nd	28,48
			2	0,91	23,92	1,11	nd	32,61
				0,65	14,65	2,35	nd	22,65
		Az	1	0,75	24,22	1,08	nd	34,97
				0,91	29,78	1,75	nd	42,86
			2	0,91	29,78	1,74	nd	46,35
				0,84	21,84	1,20	nd	35,24
		Orta	1	1,02	28,65	1,64	0,69	42,73
				0,69	23,24	1,20	0,13	37,28
			2	1,01	25,74	1,73	0,21	36,90
				0,77	22,97	1,76	0,26	36,74
Mangal	%10	Çok	1	1,45	21,76	1,93	0,51	38,01
				1,01	36,86	1,99	0,76	50,73
			2	1,12	38,70	1,59	0,37	53,34
				1,16	35,86	0,94	0,49	48,63
		Çiğ	1	0,63	8,44	0,16	nd	10,10
				0,71	8,61	0,19	nd	11,36
			2	0,61	11,36	0,86	nd	14,01
				0,62	15,46	0,66	nd	18,50
		Az	1	0,54	33,45	0,85	nd	37,11
				1,05	33,14	1,07	nd	38,44
			2	1,13	35,22	1,11	nd	43,35
				1,21	30,57	1,25	nd	37,77
		Orta	1	0,85	42,80	1,19	nd	49,12
				1,26	28,87	1,30	nd	39,55
			2	0,8	48,62	1,33	nd	59,05
				0,76	30,03	2,16	nd	39,89
		Çok	1	1,47	39,81	2,03	1,27	69,44
				0,70	33,48	2,23	1,14	74,43
			2	0,85	42,81	1,56	0,90	72,36
				1,78	44,98	1,80	1,02	83,60

Tablo 26. (devamı)

Mangal	%20	Çiğ	1	0,80	13,45	1,07	nd	17,42
				0,66	17,45	0,75	nd	20,46
			2	0,89	12,05	0,71	nd	15,08
				0,81	19,02	0,56	nd	21,75
		Az	1	1,19	26,39	1,43	nd	32,00
				0,48	37,90	1,50	nd	45,93
			2	1,84	30,38	1,00	nd	39,80
				0,92	35,58	1,15	nd	44,98
		Orta	1	2,18	32,82	1,31	nd	45,87
				1,10	49,81	2,05	nd	63,46
			2	2,21	43,75	1,66	nd	56,91
				1,70	35,83	2,21	nd	51,88
	%30	Çok	1	2,26	33,81	1,23	1,40	73,85
				1,98	39,58	2,67	0,56	78,77
			2	2,15	47,44	2,08	1,21	95,73
				2,57	50,95	2,01	1,18	94,60
		Çiğ	1	0,70	25,20	1,82	nd	32,55
				0,62	23,29	1,64	nd	28,48
			2	0,91	23,92	1,11	nd	32,61
				0,65	14,65	2,35	nd	22,65
		Az	1	0,94	30,72	1,25	nd	45,32
				1,55	35,5	1,86	nd	52,32
			2	1,59	30,32	1,26	nd	46,42
				0,85	30,81	1,01	nd	46,75
	%30	Orta	1	1,75	47,89	2,83	0,46	68,62
				1,86	49,91	1,20	0,82	70,33
			2	1,79	38,42	1,30	1,06	63,77
				1,83	36,83	1,26	0,67	67,68
		Çok	1	3,62	63,56	1,24	1,07	113,00
				4,04	59,29	2,44	0,76	118,15
			2	4,28	79,43	3,75	2,56	128,13
				4,83	47,73	2,46	1,15	100,33

Tablo 27. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen PAH8 Miktarlarının Varyans Analizi Sonuçları

BkF			
Varyasyon Kaynağı	SD	KO	F
Piştirme Yöntemi (PY)	1	11,214	143,976**
Yağ Oranı (YO)	2	3,490	44,810**
Piştirme Seviyesi (PS)	3	4,252	54,588**
Blok (B)	1	0,352	4,515*
PY x YO	2	1,235	15,855**
YO x PS	6	1,373	17,634**
PY x PS	3	3,270	41,984**
PY x YO x PS	6	0,684	8,788**
Hata	71	0,078	-
Genel	96	-	-
BghiP			
Varyasyon Kaynağı	SD	KO	F
Piştirme Yöntemi (PY)	1	3972,712	132,853**
Yağ Oranı (YO)	2	741,709	24,804**
Piştirme Seviyesi (PS)	3	1972,515	65,964**
Blok (B)	1	5,320	0,178
PY x YO	2	3,634	0,122
YO x PS	6	93,073	3,112*
PY x PS	3	557,484	18,643**
PY x YO x PS	6	46,359	1,550
Hata	71	29,903	-
Genel	96	-	-
DahA			
Varyasyon Kaynağı	SD	KO	F
Piştirme Yöntemi (PY)	1	4,806	24,266**
Yağ Oranı (YO)	2	4,494	22,691**
Piştirme Seviyesi (PS)	3	2,713	13,698**
Blok (B)	1	0,029	0,148
PY x YO	2	0,369	1,864
YO x PS	6	0,305	1,539
PY x PS	3	0,743	3,752*
PY x YO x PS	6	0,163	0,825
Hata	71	0,198	-
Genel	96	-	-
IncdP			
Varyasyon Kaynağı	SD	KO	F
Piştirme Yöntemi (PY)	1	1,987	49,705**
Yağ Oranı (YO)	2	0,606	15,173**
Piştirme Seviyesi (PS)	3	2,489	62,275**
Blok (B)	1	0,024	0,594
PY x YO	2	0,007	0,163
YO x PS	6	0,209	5,221**
PY x PS	3	1,409	35,253**
PY x YO x PS	6	0,051	1,274
Hata	71	0,040	-
Genel	96	-	-

Tablo 27. (devam)

Varyasyon Kaynağı	PAH8		
	SD	KO	F
Piştirme Yöntemi (PY)	1	14607,847	481,207**
Yağ Oranı (YO)	2	3286,405	108,260**
Piştirme Seviyesi (PS)	3	7712,631	254,067**
Blok (B)	1	48,323	1,592
PY x YO	2	24,290	0,800
YO x PS	6	137,607	4,533**
PY x PS	3	3495,001	115,131**
PY x YO x PS	6	78,444	2,584*
Hata	71	30,357	-
Genel	96	-	-

**p<0,01, *p<0,05

Tablo 28'de ısıtıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen BkF, BghiP, DahA, IncdP ve toplam PAH8 içeriklerine ait ortalamaların Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları verilmiştir. Araştırmada ısıtıl işlem görmüş sucukların üretiminde kullanılan yağ oranı arttıkça BkF, BghiP ve PAH8 miktarlarında önemli seviyede artış olduğu belirlenmiştir (p<0,05). Bununla birlikte DahA ve IncdP miktarlarında ise %10 ve %20 yağlı örnekler arasında bir farklılık görülmezken (p>0,05), %30 yağlı grupta artış olduğu tespit edilmiştir (p<0,05). Çalışmada piştirme yöntemi PAH8 bileşikleri üzerinde önemli seviyede farklılığa neden olmuş ve mangalda pişirme işlemiyle BkF, BghiP, DahA, IncdP ile toplam PAH8 miktarlarında ısıtıcı plakaya göre daha yüksek ortalama değerler elde edilmiştir (p<0,05). Isıtıcı plakada pişirilen ısıtıl işlem görmüş sucuklarda ortalama PAH8 miktarı $28,11 \pm 1,46$ µg/kg olarak bulunmuşken, mangalda pişirilmiş örneklerde $52,78 \pm 4,15$ µg/kg olarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre mangalda piştirme yönteminin PAH8 oluşum veya kontaminasyonunda önemli bir etkiye sahip olduğunu söylemek mümkündür. Piştirme seviyesi dikkate alındığında ise BkF, BghiP ve toplam PAH8 miktarının artan piştirme seviyesine bağlı olarak önemli seviyede artış gösterdiği ve en yüksek ortalama değerlerin çok pişmiş seviyelerinde elde edildiği görülmüştür (p<0,05). Bununla birlikte BkF miktarında az ve orta pişmiş seviyeleri arasındaki farklılığın ise istatistiki olarak önemli olmadığı bulunmuştur (p>0,05). DahA ve IncdP miktarlarında ise çığ ve az pişmiş seviyeleri arasında önemli bir farklılık bulunmazken (p>0,05), orta ve çok pişmiş seviyelerinde daha yüksek miktarlar tespit edilmiştir (p<0,05). Elde edilen sonuçlara göre ısıtıl işlem görmüş sucuklarda piştirme seviyesinin artırılması PAH8 miktarında artışa sebebiyet vermektedir. Bu durum PAH8 maruziyetinin azaltılması için ısıtıl işlem görmüş sucuk tüketiminde düşük piştirme seviyelerinin tercih edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Karşlıoğlu and Kolsarıcı (2023) tarafından yapılan bir çalışmada döner örneklerinin kömür ateşinde pişirilmesinin daha yüksek miktarda DahA ve IncdP oluşumuna yol açtığı ve piştirme

seviyesi arttıkça bu bileşiklerin miktarında da artış olduğu tespit edilmiştir. Li and Wu (2024) ise pişirilmiş geleneksel Çin sosislerinde çiğ örneklerle kıyasla daha yüksek seviyede PAH8 miktarı tespit etmişlerdir. Ayrıca yüksek sıcaklıkta pişirilen sosislerde toplam PAH8 miktarının daha fazla olduğu bildirilmiştir.

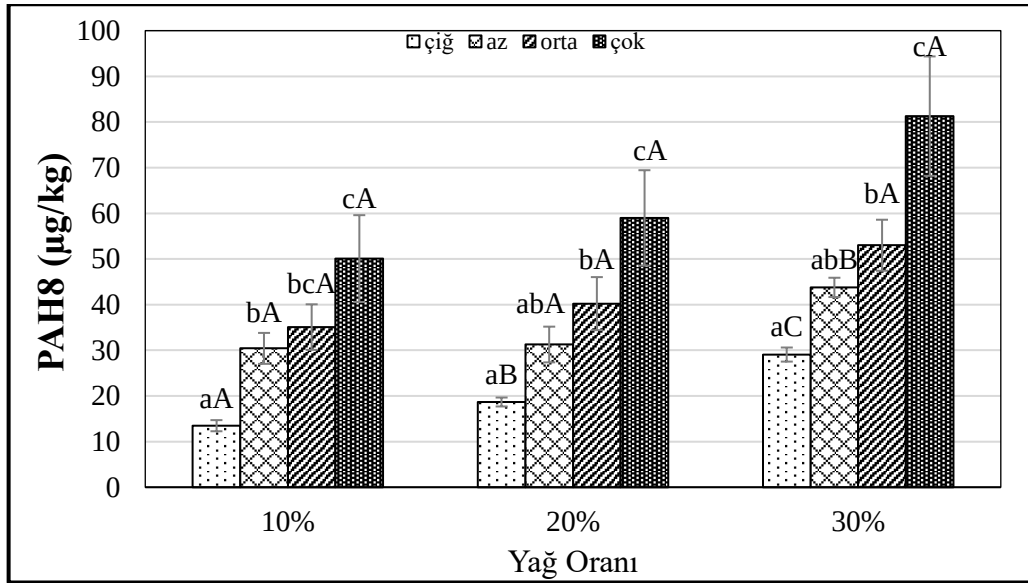
Tablo 28. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen PAH8 Miktarlarına Ait Ortalamalar ile Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları ($\mu\text{g/kg}$)

	BkF	BghiP	DahA	IncdP	PAH8
Yağ Oranı					
%10	0,79 $\pm$ 0,06 ^a	23,82 $\pm$ 2,06 ^a	0,98 $\pm$ 0,10 ^a	0,13 $\pm$ 0,06 ^a	32,27 $\pm$ 3,57 ^a
%20	1,15 $\pm$ 0,11 ^b	26,84 $\pm$ 1,99 ^b	1,15 $\pm$ 0,10 ^a	0,14 $\pm$ 0,07 ^a	37,29 $\pm$ 3,99 ^b
%30	1,45 $\pm$ 0,20 ^c	33,25 $\pm$ 2,54 ^c	1,69 $\pm$ 0,11 ^b	0,37 $\pm$ 0,10 ^b	51,79 $\pm$ 4,85 ^c
Pişirme Yöntemi					
Isıtıcı plaka	0,79 $\pm$ 0,03 ^a	21,54 $\pm$ 0,95 ^a	1,05 $\pm$ 0,08 ^a	0,07 $\pm$ 0,03 ^a	28,11 $\pm$ 1,46 ^a
Mangal	1,47 $\pm$ 0,14 ^b	34,40 $\pm$ 2,11 ^b	1,50 $\pm$ 0,10 ^b	0,36 $\pm$ 0,08 ^b	52,78 $\pm$ 4,15 ^b
Pişirme Seviyesi					
Çiğ	0,72 $\pm$ 0,02 ^a	16,07 $\pm$ 1,16 ^a	0,99 $\pm$ 0,13 ^a	0,00 $\pm$ 0,00 ^a	20,41 $\pm$ 1,52 ^a
Az	0,98 $\pm$ 0,06 ^b	26,79 $\pm$ 1,43 ^b	1,06 $\pm$ 0,09 ^a	0,00 $\pm$ 0,00 ^a	35,16 $\pm$ 2,19 ^b
Orta	1,10 $\pm$ 0,12 ^b	31,48 $\pm$ 2,23 ^c	1,32 $\pm$ 0,12 ^b	0,18 $\pm$ 0,06 ^b	42,77 $\pm$ 3,40 ^c
Çok	1,71 $\pm$ 0,26 ^c	37,53 $\pm$ 3,15 ^d	1,73 $\pm$ 0,14 ^c	0,68 $\pm$ 0,13 ^c	63,46 $\pm$ 6,71 ^d

^{a-d}: Farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistikî açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$).

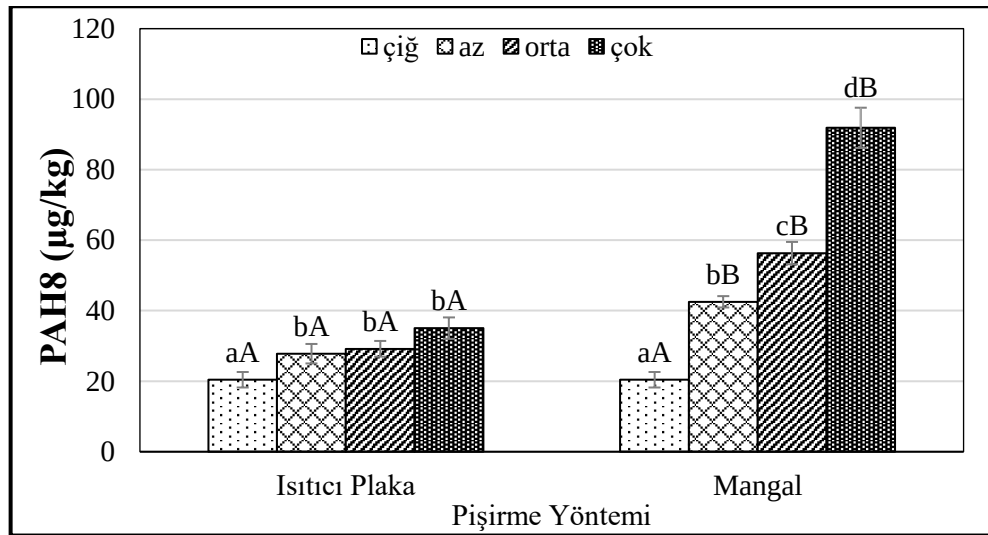
$\pm$: standart hata

Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen PAH8 miktarları üzerine yağ oranı x pişirme seviyesi interaksyonunun etkisi Şekil 19’da verilmiştir. Tüm yağ oranlarında pişirme seviyesi arttıkça toplam PAH8 miktarının önemli seviyede artış gösterdiği ve en yüksek değerlerin çok pişirme seviyesinde belirlendiği görülmüştür ($p<0,05$). Bununla birlikte tüm yağ oranlarında az ve orta pişirme seviyeleri için benzer PAH8 miktarları tespit edilmiştir. Isıl işlem görmüş sucuk üretiminde kullanılan yağ oranı arttıkça oluşan toplam PAH8 miktarının çiğ örneklerde önemli seviyede arttığı belirlenmiştir ($p<0,05$). Diğer taraftan %10 ve %20 yağlı örneklerde az pişmiş derecenin PAH8 miktarında önemli bir farklılığa neden olmadığı ($p>0,05$), %30 yağlı örneklerde ise az pişmiş uygulamasının bile toplam PAH8 miktarı önemli ölçüde artırdığı tespit edilmiştir ($p<0,05$). Orta ve çok pişmiş seviyelerinde ise PAH8 miktarının yağ oranından etkilenmediği görülmüştür ($p>0,05$).



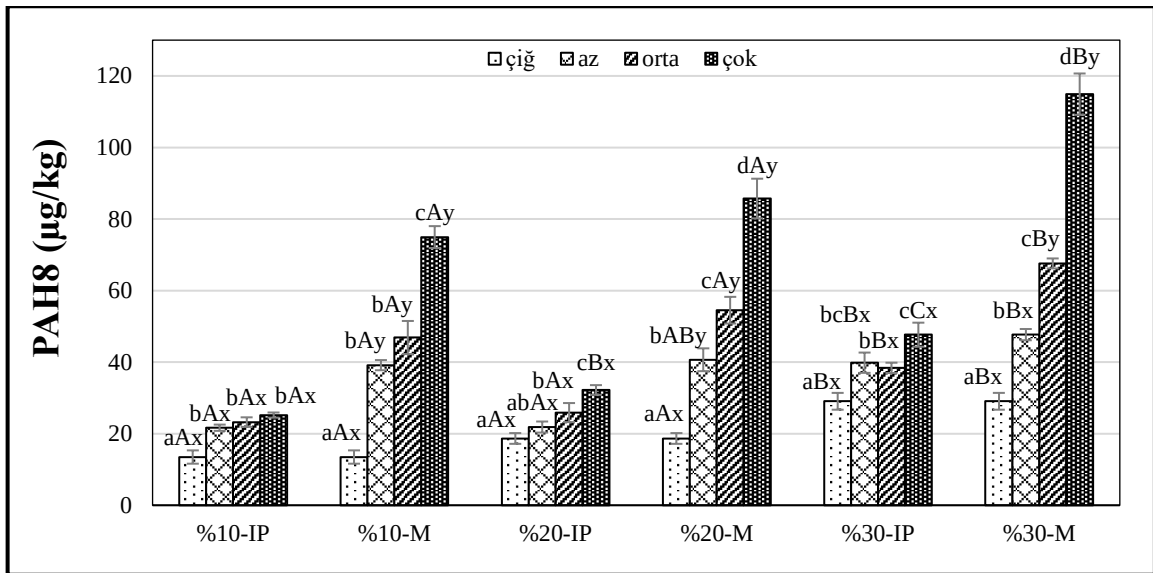
Şekil 19. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen PAH8 miktarlarına ait yağ oranı x pişirme seviyesi interaksyonu (^{a-c}: Aynı yağ oranında farklı pişirme seviyelerinde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$), ^{A-C}: Aynı pişirme seviyesinde farklı yağ oranlarında farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$))

Şekil 20’de ısıtılmış sucuklarda belirlenen PAH8 miktarları üzerine pişirme yöntemi x pişirme seviyesi interaksyonunun etkisi gösterilmiştir. Mangalda pişirme işleminin az, orta ve çok pişirme seviyeleri için ısıtıcı plakaya göre toplam PAH8 miktarında artışa yol açtığı belirlenmiştir ($p<0,05$). Ayrıca mangalda pişirme yönteminde pişirme seviyesi arttıkça toplam PAH8 miktarının önemli seviyede arttığı görülmüştür ($p<0,05$). Isıtıcı plakada pişirme yönteminde ise çığ örneklerine kıyasla pişirilen örneklerin toplam PAH8 miktarı önemli seviyede artmış olup ($p<0,05$), az, orta ve çok pişmiş seviyeleri arasında meydana gelen artışın istatistiksel olarak önemli olmadığı tespit edilmiştir ($p>0,05$). Böylece PAH8 kontaminasyonu açısından ısıtılmış sucukların ısıtıcı plaka üzerinde pişirilmesinin daha uygun olduğu mangalda pişirme işlemi yapılacaksa daha düşük pişirme seviyelerinin tercih edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 20. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen PAH8 miktarlarına ait piştirme yöntemi x piştirme seviyesi interaksyonu (^{a-d}: Aynı piştirme yönteminde farklı piştirme seviyelerinde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$), ^{A-B}: Aynı piştirme seviyesinde farklı piştirme yöntemlerinde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$))

Piştirme yöntemi x yağ oranı x piştirme seviyesi interaksyonunun PAH8 miktarları üzerine etkisi Şekil 21’de gösterilmiştir. %10 yağlı örnekler için ısıtıcı plakada piştirme işleminde az, orta ve çok piştirme seviyeleri arasında önemli bir farklılık bulunmuyorken, mangalda piştirme işleminde çok pişmiş seviyesinde daha yüksek PAH8 miktarının tespit edildiği görülmüştür. %20 yağlı örneklerde ise her iki piştirme yönteminde de piştirme seviyesine bağlı olarak PAH8 miktarı artış göstermiştir. %30 yağlı örneklerde mangalda piştirme işleminde PAH8 miktarı piştirme seviyesine bağlı olarak artmıştır. Bunlara ilaveten tüm yağ oranları için mangalda pişirmede ısıtıcı plakaya göre tüm piştirme seviyelerinde daha yüksek toplam PAH8 miktarları belirlenmiştir ($p<0,05$). Toplam PAH8 miktarında ısıtıcı plaka için %10 ve %20 yağlı örneklerde çiğ, az ve orta pişmiş seviyeleri arasında önemli bir farklılığın bulunmadığı ($p>0,05$), %30 yağlı örneklerde ise artış meydana geldiği tespit edilmiştir ($p<0,05$). Çok pişmiş seviyesinde ise yağ oranı arttıkça PAH8 miktarının da arttığı görülmüştür ($p<0,05$). Diğer yandan mangalda piştirme işleminde %10 ve %20 yağlı çiğ, orta ve çok seviyede pişirilen örneklerde belirlenen toplam PAH8 miktarı önemli farklılık göstermemiş olup ($p>0,05$), %30 yağ oranına sahip örneklerde bu piştirme seviyeleri için önemli seviyede daha yüksek PAH8 miktarları tespit edilmiştir ($p<0,05$). Isıl işlem görmüş sucukların mangalda az pişmiş seviyesine kadar pişirilmesi durumunda ise yağ oranı arttıkça toplam PAH8 miktarının arttığı görülmüştür ($p<0,05$).



Şekil 21. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen PAH8 miktarlarına ait pişirme yöntemi x yağ oranı x pişirme seviyesi interaksyonu (^{a-d}: Aynı yağ oranında farklı pişirme seviyelerinde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır (p<0,05), ^{A-C}: Aynı pişirme yöntemi için farklı yağ oranlarında farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır (p<0,05), ^{x-y}: Aynı yağ oranı ve pişirme seviyesinde farklı pişirme yönteminde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır (p<0,05))

PAH16

IARC tarafından sınıflandırılan ve öncelikli kirletici listesinde bulunan 16 farklı PAH bileşiği mevcuttur. Bu kapsamda mevcut bu çalışmada ısıl işlem görmüş sucuklarda PAH8'e ilaveten sekiz farklı PAH bileşiği (PAH16: PAH8 + Np, Ane, Anp, An, Flu, Flr, Phe, Py) daha incelenmiştir. Farklı yağ oranlarıyla üretilen ısıl işlem görmüş sucuklarda farklı pişirme yöntemi ve pişirme seviyelerinde belirlenen Np, Ane, Anp, An, Flu, Flr, Phe, Py ile toplam PAH16 miktarları Tablo 29'da verilmiştir. Bunlar arasında Ane ve Anp bileşiklerinin belirlenebilir sınırların altında kaldığı görülmüştür. Diğer yandan çalışmada %10 yağlı ısıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen toplam PAH16 miktarı 12,84-97,41 µg/kg arasında belirlenmişken, %20 ve %30 yağlı örneklerde ise sırasıyla 17,86-122,17 µg/kg ve 25,53-174,79 µg/kg arasında tespit edilmiştir. Bununla birlikte ısıl işlem görmüş sucukların toplam PAH16 miktarının ısıtıcı plakada çok seviye pişirilen örneklerde 27,79-64,73 µg/kg, mangalda çok seviyede pişirilenlerde ise 81,31-174,79 µg/kg arasında olduğu bulunmuştur.

Tablo 30'da ısıl işlem görmüş sucuklarda farklı pişirme yöntemi ve pişirme seviyelerinde belirlenen Np, An, Flu, Flr, Phe ve Py ile toplam PAH16 miktarlarına ait varyans analizi sonuçları verilmiştir. Araştırmada pişirme yöntemi, yağ oranı ve pişirme seviyesinin Np, An, Flr, Phe ve toplam PAH16 miktarları üzerinde önemli seviyede etkili olduğu görülmüştür (p<0,01). Bununla birlikte Flu miktarı pişirme yöntemi ve pişirme seviyesinden p<0,01

düzeyinde, yağ oranından ise $p<0,05$ düzeyinde etkilenmiştir. Ayrıca Py miktarı üzerinde pişirme yöntemi ($p<0,01$) ve pişirme seviyesinin ($p<0,05$) etkili olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte pişirme yöntemi, yağ oranı ve pişirme seviyesi arasındaki tüm ikili etkileşimler ile üçlü etkileşimin toplam PAH16 miktarını önemli seviyede etkilediği tespit edilmiştir ($p<0,01$). Benzer şekilde Gomes *et al.* (2013) tarafından yapılan bir çalışmada da soslerde farklı yağ oranı kullanımının Np, An, Flu, Flr, Phe ve Py miktarları üzerinde önemli seviyede etkili olduğu ($p<0,01$) ve toplam PAH16 miktarının kullanılan farklı yağ oranından $p<0,05$ düzeyinde etkilendiği tespit edilmiştir.



Tablo 29. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen PAH16 Miktarları (µg/kg)

Piştirme Yöntemi	Yağ Oranı	Piştirme Seviyesi	Blok	Np	Ane	Anp	An	Flu	Flr	Phe	Py	PAH16
Isıtıcı plaka	%10	Çiğ	1	nd	nd	nd	nd	nd	1,45	nd	1,29	12,84
				nd	nd	nd	nd	nd	1,81	nd	1,09	14,26
			2	nd	nd	nd	nd	nd	1,77	nd	1,55	17,33
				nd	nd	nd	nd	nd	1,48	nd	1,81	21,79
		Az	1	nd	nd	nd	nd	nd	1,80	nd	1,95	27,90
				nd	nd	nd	nd	nd	3,72	nd	8,49	32,54
			2	nd	nd	nd	0,47	nd	1,72	nd	7,36	31,19
				nd	nd	nd	0,67	nd	2,16	nd	0,56	24,00
		Orta	1	nd	nd	nd	nd	nd	1,66	nd	0,81	28,20
				nd	nd	nd	nd	nd	3,06	nd	0,17	23,32
			2	nd	nd	nd	0,54	nd	1,79	nd	6,24	30,56
				nd	nd	nd	0,65	nd	3,83	nd	0,79	30,46
		Çok	1	nd	nd	nd	2,11	nd	2,07	nd	3,94	34,35
				nd	nd	nd	1,40	nd	3,31	nd	0,67	30,10
			2	nd	nd	nd	1,01	nd	1,33	nd	3,62	32,49
				nd	nd	nd	1,00	nd	3,00	nd	0,37	27,79
	%20	Çiğ	1	nd	nd	nd	nd	nd	1,42	nd	1,65	20,49
				nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,40	22,86
			2	nd	nd	nd	nd	0,17	1,32	nd	1,29	17,86
				nd	nd	nd	nd	0,12	1,04	nd	1,40	24,31
		Az	1	nd	nd	nd	0,21	0,60	1,81	nd	1,30	28,38
				nd	nd	nd	0,83	0,41	1,78	nd	1,57	22,32
			2	nd	nd	nd	nd	0,37	1,48	nd	6,67	29,80
				nd	nd	nd	0,32	0,48	1,44	nd	nd	26,24
		Orta	1	nd	nd	nd	0,12	0,12	2,01	nd	2,65	30,91
				nd	nd	nd	0,45	0,68	3,21	nd	0,29	38,04
			2	nd	nd	nd	0,31	0,75	3,25	nd	1,06	27,84
				nd	nd	nd	0,14	0,21	1,33	nd	nd	23,47
		Çok	1	nd	nd	nd	1,24	0,80	2,42	nd	4,79	39,95
				nd	nd	nd	0,91	0,32	1,32	nd	2,13	35,61
			2	nd	nd	nd	2,85	0,40	4,94	nd	6,25	50,76
				nd	nd	nd	0,93	0,78	1,36	nd	2,41	36,47

Tablo 29. (devam)

Isıtıcı plaka	%30	Çiğ	1	nd	nd	nd	0,32	0,28	2,48	nd	1,49	37,12
				nd	nd	nd	0,26	0,20	4,65	nd	1,75	35,34
			2	nd	nd	nd	0,47	0,30	1,50	nd	1,94	36,82
				nd	nd	nd	0,55	0,13	1,03	nd	1,17	25,53
		Az	1	nd	nd	nd	0,50	0,42	1,08	nd	1,71	38,68
				nd	nd	nd	0,78	0,18	1,19	nd	1,53	46,54
			2	nd	nd	nd	0,37	0,20	1,16	nd	1,53	49,61
				nd	nd	nd	0,65	0,12	1,20	nd	1,16	38,37
		Orta	1	nd	nd	nd	0,85	0,32	1,25	nd	1,06	46,21
				nd	nd	nd	0,99	0,35	1,49	nd	1,43	41,54
			2	nd	nd	nd	1,29	0,41	1,40	nd	2,51	42,51
				nd	nd	nd	1,31	0,39	1,61	nd	2,33	42,38
		Çok	1	nd	nd	nd	1,14	0,46	1,72	nd	1,01	42,34
				nd	nd	nd	4,80	0,75	1,84	nd	2,29	60,41
			2	nd	nd	nd	5,48	0,88	1,38	nd	3,65	64,73
				nd	nd	nd	4,47	0,40	1,79	nd	4,48	59,77
Mangal	%10	Çiğ	1	nd	nd	nd	nd	nd	1,45	nd	1,29	12,84
				nd	nd	nd	nd	nd	1,81	nd	1,09	14,26
			2	nd	nd	nd	nd	nd	1,77	nd	1,55	17,33
				nd	nd	nd	nd	nd	1,48	nd	1,81	21,79
		Az	1	nd	nd	nd	2,78	nd	1,25	nd	7,66	48,80
				nd	nd	nd	1,79	nd	1,11	nd	0,01	41,35
			2	nd	nd	nd	3,52	0,39	1,69	nd	0,17	49,12
				nd	nd	nd	1,46	2,36	1,07	nd	2,18	44,84
		Orta	1	nd	nd	nd	5,24	0,25	1,33	0,60	0,63	57,17
				nd	nd	nd	4,85	0,22	1,67	0,56	0,87	47,72
			2	nd	nd	nd	2,07	1,18	1,26	0,22	1,94	65,72
				nd	nd	nd	2,80	2,70	1,48	0,54	2,65	50,06
		Çok	1	nd	nd	nd	3,83	2,06	1,63	3,10	1,25	81,31
				nd	nd	nd	4,09	0,36	2,77	5,27	1,75	88,67
			2	nd	nd	nd	3,73	1,46	2,39	1,24	1,07	82,25
				nd	nd	nd	3,90	2,65	3,39	1,01	2,86	97,41

Tablo 29. (devam)

Mangal	%20	Çiğ	1	nd	nd	nd	nd	nd	1,42	nd	1,65	20,49
				nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,40	22,86
		2	nd	nd	nd	nd	nd	0,17	1,32	nd	1,29	17,86
				nd	nd	nd	nd	0,12	1,04	nd	1,40	24,31
		Az	1	nd	nd	nd	1,16	0,60	1,66	nd	3,07	38,49
				nd	nd	nd	0,41	0,10	1,58	nd	0,32	48,34
		2	nd	nd	nd	nd	0,66	0,67	1,37	nd	10,22	52,72
				nd	nd	nd	0,41	0,64	1,33	nd	2,15	49,51
		Orta	1	nd	nd	nd	3,74	1,14	3,95	1,72	34,74	91,16
				nd	nd	nd	1,88	0,76	1,25	3,65	5,37	76,37
		2	nd	nd	nd	nd	2,07	1,02	4,30	2,56	2,07	68,93
				nd	nd	nd	4,05	0,66	1,27	2,49	2,34	62,69
	%30	Çok	1	3,14	nd	nd	1,93	0,34	9,81	1,87	4,32	95,26
				1,13	nd	nd	2,64	0,86	7,97	3,53	3,11	98,01
		2	nd	1,28	nd	nd	3,59	1,80	8,89	3,81	4,03	119,13
				1,54	nd	nd	5,63	1,91	9,15	4,33	5,01	122,17
		Çiğ	1	nd	nd	nd	0,32	0,28	2,48	nd	1,49	37,12
				nd	nd	nd	0,26	0,20	4,65	nd	1,75	35,34
		2	nd	nd	nd	nd	0,47	0,30	1,50	nd	1,94	36,82
				nd	nd	nd	0,55	0,13	1,03	nd	1,17	25,53
		Az	1	nd	nd	nd	3,41	0,32	2,04	0,33	2,43	53,85
				nd	nd	nd	3,67	0,49	1,89	0,58	1,72	60,67
		2	nd	nd	nd	nd	3,87	0,54	1,29	0,41	1,25	53,78
				nd	nd	nd	2,77	0,34	1,45	0,67	1,21	53,19
		Orta	1	3,66	nd	nd	4,56	1,22	5,66	3,20	6,08	93,00
				4,56	nd	nd	3,39	1,18	2,65	4,97	8,16	95,24
		2	nd	5,32	nd	nd	2,93	1,73	6,41	1,80	9,44	91,40
				3,41	nd	nd	4,24	2,80	2,47	4,86	10,13	95,59
		Çok	1	6,77	nd	nd	6,73	1,90	14,77	3,94	10,93	158,04
				7,48	nd	nd	8,19	2,17	19,83	4,14	12,80	172,76
		2	nd	7,60	nd	nd	8,40	2,19	15,61	2,37	10,49	174,79
				8,85	nd	nd	9,33	1,74	17,12	6,17	11,61	155,15

Tablo 30. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen PAH16 Miktarlarının Varyans Analizi Sonuçları

Np			
Varyasyon Kaynağı	SD	KO	F
Piştirme Yöntemi (PY)	1	31,213	312,118**
Yağ Oranı (YO)	2	20,656	206,548**
Piştirme Seviyesi (PS)	3	13,420	134,198**
Blok (B)	1	0,017	0,165
PY x YO	2	20,656	206,548**
YO x PS	6	7,870	78,699**
PY x PS	3	13,420	134,198**
PY x YO x PS	6	7,870	78,699**
Hata	71	0,100	-
Genel	96	-	-
An			
Varyasyon Kaynağı	SD	KO	F
Piştirme Yöntemi (PY)	1	86,128	142,154**
Yağ Oranı (YO)	2	22,232	36,694**
Piştirme Seviyesi (PS)	3	54,326	89,665**
Blok (B)	1	0,692	1,142
PY x YO	2	2,905	4,795*
YO x PS	6	5,746	9,483**
PY x PS	3	11,335	18,708**
PY x YO x PS	6	1,190	1,964
Hata	71	0,606	-
Genel	96	-	-
Flu			
Varyasyon Kaynağı	SD	KO	F
Piştirme Yöntemi (PY)	1	9,344	48,353**
Yağ Oranı (YO)	2	0,756	3,913*
Piştirme Seviyesi (PS)	3	3,856	19,955**
Blok (B)	1	1,834	9,492**
PY x YO	2	0,712	3,686*
YO x PS	6	0,176	0,913
PY x PS	3	1,932	9,998**
PY x YO x PS	6	0,157	0,811
Hata	71	0,193	-
Genel	96	-	-
Flr			
Varyasyon Kaynağı	SD	KO	F
Piştirme Yöntemi (PY)	1	87,879	80,998**
Yağ Oranı (YO)	2	32,977	30,395**
Piştirme Seviyesi (PS)	3	95,738	88,241**
Blok (B)	1	0,805	0,742
PY x YO	2	53,622	49,423**
YO x PS	6	21,651	19,956**
PY x PS	3	76,427	70,442**
PY x YO x PS	6	23,286	21,463**
Hata	71	1,085	-
Genel	96	-	-

Tablo 30. (devam)

Phe			
Varyasyon Kaynağı	SD	KO	F
Piştirme Yöntemi (PY)	1	48,916	108,750**
Yağ Oranı (YO)	2	3,237	7,198**
Piştirme Seviyesi (PS)	3	15,791	35,107**
Blok (B)	1	0,264	0,587
PY x YO	2	3,237	7,198**
YO x PS	6	1,030	2,290*
PY x PS	3	15,791	35,107**
PY x YO x PS	6	1,030	2,290*
Hata	71	0,450	-
Genel	96	-	-
Py			
Varyasyon Kaynağı	SD	KO	F
Piştirme Yöntemi (PY)	1	98,537	7,014**
Yağ Oranı (YO)	2	28,316	2,016
Piştirme Seviyesi (PS)	3	43,750	3,114*
Blok (B)	1	1,556	0,111
PY x YO	2	47,616	3,389*
YO x PS	6	25,627	1,824
PY x PS	3	41,707	2,969*
PY x YO x PS	6	22,735	1,618
Hata	71	14,048	-
Genel	96	-	-
PAH16			
Varyasyon Kaynağı	SD	KO	F
Piştirme Yöntemi (PY)	1	27299,713	650,802**
Yağ Oranı (YO)	2	6145,388	146,501**
Piştirme Seviyesi (PS)	3	14224,184	339,093**
Blok (B)	1	43,740	1,043
PY x YO	2	626,065	14,925**
YO x PS	6	656,550	15,652**
PY x PS	3	6797,174	162,039**
PY x YO x PS	6	403,125	9,610**
Hata	71	41,948	-
Genel	96	-	-

**p<0,01, *p<0,05

Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen Np, An, Flu, Flr, Phe ve Py ile toplam PAH16 miktarlarına ait ortalamalar ile Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları Tablo 31’de sunulmuştur. Araştırmada ısıtılmış sucuk üretiminde kullanılan yağ oranı arttıkça Np, Flu, Flr, Phe ile toplam PAH16 miktarlarında önemli seviyede artış olduğu belirlenmiştir (p<0,05). Diğer yandan An miktarı %10 ve %20 yağlı örnekler arasında bir farklılık göstermezken (p>0,05), %30 yağlı örneklerde artış göstermiştir. Bununla birlikte piştirme yöntemi belirlenen PAH16 miktarları üzerinde önemli seviyede etkili olmuş ve mangalda

pişirme işleminin daha yüksek ortalama değerlerin elde edilmesine neden olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$). Isıtıcı plakada pişirilen ısıt işlem görmüş sucuklarda ortalama toplam PAH16 miktarı $33,38\pm1,67$ $\mu\text{g/kg}$ olarak bulunmuşken, mangalda pişirilmiş örneklerde $67,11\pm5,94$ $\mu\text{g/kg}$ olarak tespit edilmiştir. Isıl işlem görmüş sucukların pişirme seviyesi arttıkça An, Flu ve toplam PAH16 miktarları önemli seviyede artış göstermiş ve en yüksek ortalama PAH16 değeri $81,65\pm9,69$ $\mu\text{g/kg}$ olarak çok pişirilmiş örneklerde bulunmuştur ($p<0,05$). Ayrıca Np, Flr ve Phe miktarlarının çiğ örnekleri ile az pişmiş örnekler arasında önemli bir farklılığın olmadığı ($p>0,05$), fakat pişirme seviyesi arttıkça daha yüksek miktarların olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$). Örneklerde belirlenen Py miktarının ise pişirme seviyesi ile artış gösterdiği, ancak orta ve çok pişirme seviyeleri arasında meydana gelen artışın istatistiksel olarak önemli olmadığı görülmüştür ($p>0,05$). Babaoğlu (2023) tarafından yapılan bir çalışmada sığır etinin odun kömürü kullanılarak ızgarada pişirilmesiyle toplam ortalama PAH16 miktarı $35,75$ $\mu\text{g/kg}$ belirlenmiştir. Aynı çalışmada köfte örneklerinde ise PAH16 miktarı $62,89$ $\mu\text{g/kg}$ olarak tespit edilmiştir. Gorji *et al.* (2016) gaz kullanılarak ızgara edilen sığır etinde toplam ortalama PAH16 miktarını $10,03$ $\mu\text{g/kg}$ olarak, kömürde ızgara edilen örneklerdekini ise ortalama $13,27$ $\mu\text{g/kg}$ olarak belirlemişlerdir. Diğer yandan yapılan bir başka çalışmada aynı kebab çeşidi için toplam PAH16 miktarı $124,5$ $\mu\text{g/kg}$ olarak bulunmuştur (Khalili *et al.* 2023).

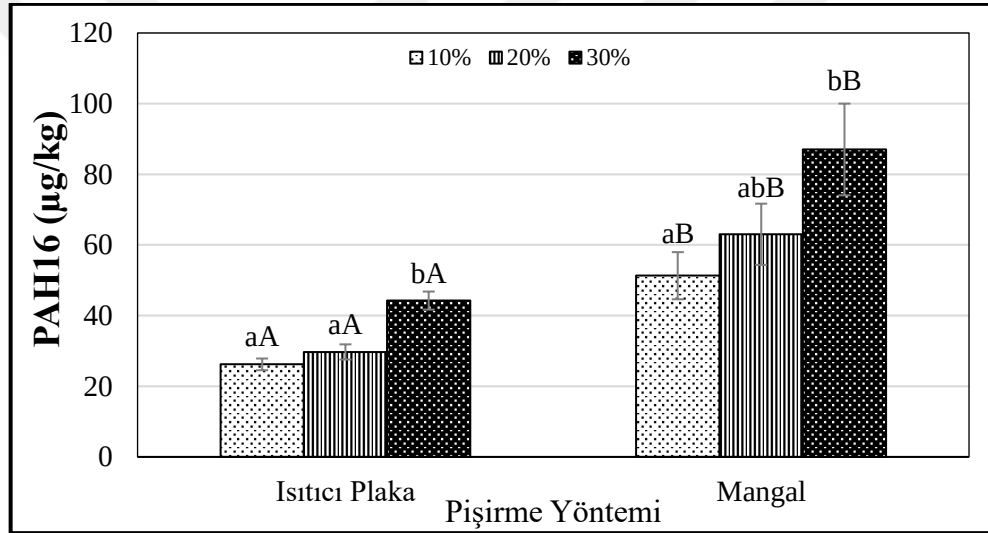
Tablo 31. Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Belirlenen PAH16 Miktarlarına Ait Ortalamalar ile Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları (µg/kg)

	Np	An	Flu	Flr	Phe	Py	PAH16
Yağ Oranı							
%10	0,00±0,00 ^a	1,50±0,30 ^a	0,43±0,15 ^a	1,99±0,14 ^a	0,39±0,19 ^a	2,17±0,40 ^a	38,74±4,06 ^a
%20	0,22±0,12 ^b	1,14±0,26 ^a	0,53±0,08 ^{ab}	2,70±0,47 ^b	0,75±0,25 ^b	3,73±1,07 ^a	46,36±5,31 ^b
%30	1,49±0,49 ^c	2,73±0,47 ^b	0,73±0,13 ^b	3,99±0,91 ^c	1,11±0,34 ^c	3,86±0,67 ^a	65,63±7,56 ^c
Piştirme Yöntemi							
Isıtıcı plaka	0,00±0,00 ^a	0,84±0,18 ^a	0,25±0,04 ^a	1,93±0,14 ^a	0,00±0,00 ^a	2,24±0,28 ^a	33,38±1,67 ^a
Mangal	1,14±0,34 ^b	2,74±0,34 ^b	0,87±0,12 ^b	3,85±0,66 ^b	1,46±0,26 ^b	4,27±0,82 ^b	67,11±5,94 ^b
Piştirme Seviyesi							
Çiğ	0,00±0,00 ^a	0,13±0,04 ^a	0,10±0,02 ^a	1,66±0,22 ^a	0,00±0,00 ^a	1,57±0,07 ^a	23,88±1,69 ^a
Az	0,00±0,00 ^a	1,28±0,27 ^b	0,38±0,10 ^b	1,59±0,11 ^a	0,08±0,04 ^a	2,76±0,60 ^{ab}	41,26±2,28 ^b
Orta	0,71±0,33 ^b	2,02±0,35 ^c	0,75±0,16 ^c	2,48±0,30 ^b	1,13±0,33 ^b	4,32±1,45 ^b	54,19±5,09 ^c
Çok	1,57±0,59 ^c	3,72±0,52 ^d	1,01±0,17 ^d	5,82±1,17 ^c	1,70±0,42 ^c	4,37±0,73 ^b	81,65±9,69 ^d

^{a-d}: Farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır (p<0,05).

±: standart hata

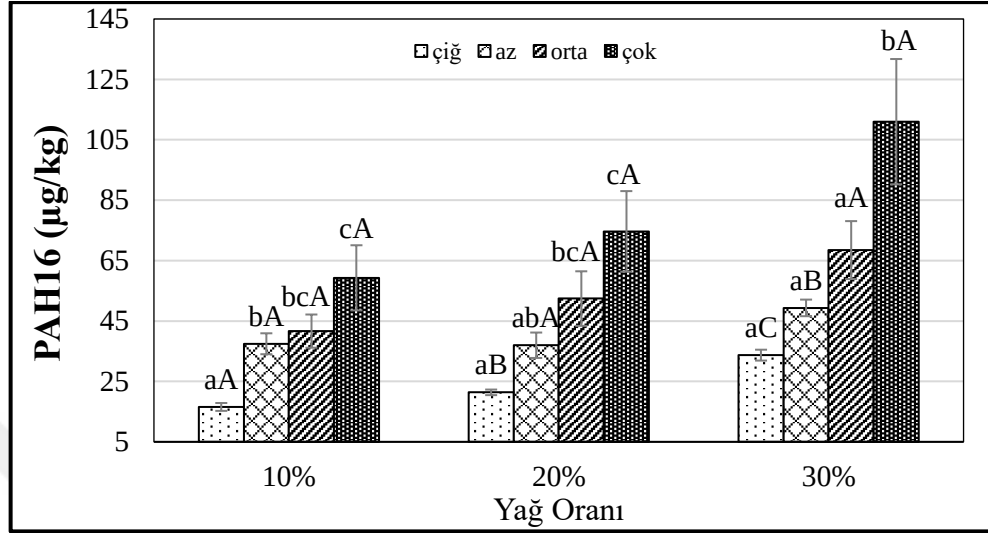
Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen PAH16 miktarları üzerine pişirme yöntemi x yağ oranı interaksiyonunun etkisi Şekil 22’de verilmiştir. Farklı pişirme yöntemi üç farklı yağ oranında da önemli derecede etkili olmuş ve mangalda pişirme işleminde ısıtıcı plakaya göre daha yüksek toplam PAH16 miktarları elde edilmiştir ($p<0,05$). Ayrıca mangalda pişirme işleminde yağ oranı artışının PAH16 miktarında önemli seviyede artışa neden olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$). Isıtıcı plakada pişirme işleminde ise %10 ve %20 yağlı örneklerde belirlenen toplam PAH16 miktarlarının farklılık göstermediği ($p>0,05$), fakat %30 yağ oranına sahip örneklerde belirlenen PAH16 miktarının önemli seviyede daha yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$). Böylece her iki pişirme yönteminde de yüksek yağ oranının PAH16 açısından risk oluşturduğu, bununla birlikte mangalda %10 yağlı örneklerin bile ısıtıcı plakadaki %30 yağlı örneklerden daha yüksek PAH16 miktarına yol açtığı dikkate alındığında mangalda pişirmenin daha yüksek bir risk içerdiği söylenebilir.



Şekil 22. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen PAH16 miktarlarına ait pişirme yöntemi x yağ oranı interaksiyonu (^{a-b}: Aynı pişirme yönteminde farklı yağ oranlarında farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$), ^{A-B}: Aynı yağ oranında farklı pişirme yöntemlerinde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$))

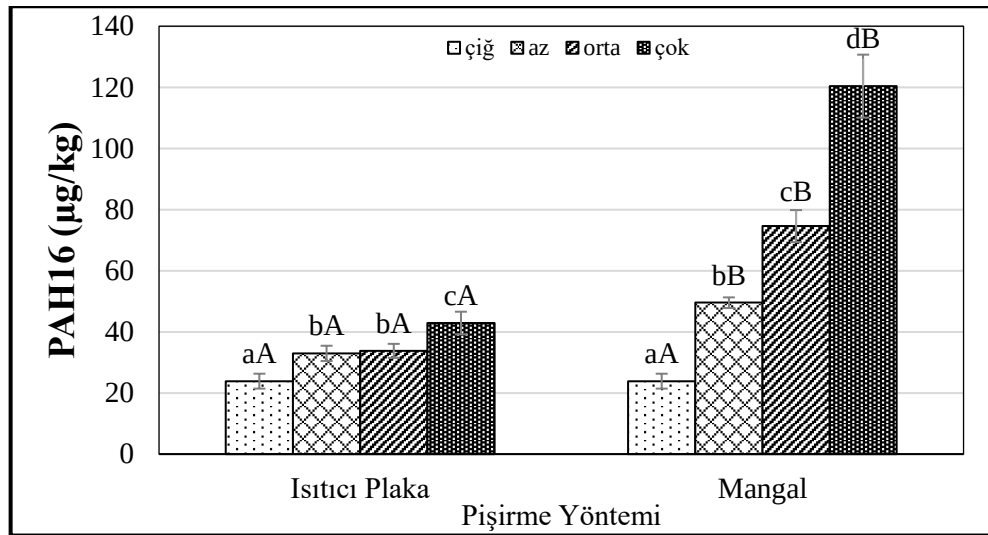
Şekil 23’te ısıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen PAH16 miktarları üzerine yağ oranı x pişirme seviyesi interaksiyonunun etkisi verilmiştir. Isıl işlem görmüş sucuk üretiminde kullanılan farklı yağ oranları çiğ örnekler için toplam PAH16 miktarını önemli seviyede etkilemiş ve yağ oranı arttıkça toplam PAH16 miktarı da artmıştır ($p<0,05$). Bununla birlikte az pişirilmiş örneklerde %10 veya %20 yağ oranı PAH16 miktarında önemli bir farklılığa neden olmazken ($p>0,05$), %30 yağ oranıyla üretilen örneklerin toplam PAH16 miktarının önemli seviyede daha yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$). Ayrıca toplam PAH16 miktarının orta ve çok pişmiş seviyelerinde yağ oranına bağlı olarak farklılık göstermediği belirlenmiştir ($p>0,05$). Şekilden görüldüğü üzere %10 ve %20 yağlı ısıl işlem görmüş sucuklarda pişirme

seviyesine bağı olarak PAH16 miktarının önemli seviyede artış gösterdiği ($p<0,05$), %30 yağ oranıyla üretilen ısıt işlem görmüş sucuklar için ise çiğ ile az ve orta pişmiş seviyeleri arasında istatistiki olarak önemli bir farklılığın olmadığı ($p>0,05$), fakat çok pişirme işleminin daha yüksek PAH16 miktarına neden olduğu belirlenmiştir.



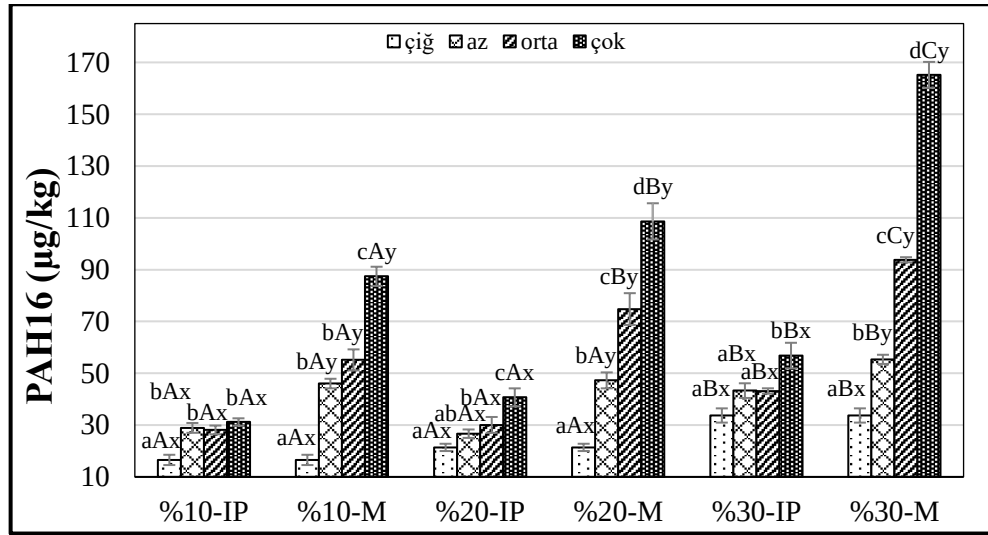
Şekil 23. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen PAH16 miktarlarına ait yağ oranı x pişirme seviyesi interaksyonu (^{a-c}: Aynı yağ oranında farklı pişirme seviyelerinde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$), ^{A-C}: Aynı pişirme seviyesinde farklı yağ oranlarında farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$))

PAH16 miktarı üzerine pişirme yöntemi x pişirme seviyesi interaksyonunun etkisi Şekil 24'te sunulmuştur. Çalışmada kullanılan her iki pişirme yönteminde de pişirme seviyesi arttıkça belirlenen toplam PAH16 miktarının önemli seviyede artış gösterdiği ($p<0,05$), ancak ısıtıcı plakada az ve orta seviyede pişirilen örnekler arasında istatistiki açıdan bir farklılığın olmadığı tespit edilmiştir ($p>0,05$). Isıl işlem görmüş sucukların az, orta ve çok pişmiş seviyelerine kadar pişirilmesinde seçilen pişirme yönteminin toplam PAH16 miktarı üzerinde etkili olduğu ve mangalda pişirme yönteminin bu seviyelerin tümünde önemli seviyede daha yüksek toplam PAH16 miktarının oluşmasına neden olduğu bulunmuştur ($p<0,05$).



Şekil 24. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen PAH16 miktarlarına ait pişirme yöntemi x pişirme seviyesi etkisi (a-d: Aynı pişirme yönteminde farklı pişirme seviyelerinde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiksel açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$), A-B: Aynı pişirme seviyesinde farklı pişirme yöntemlerinde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiksel açıdan birbirinden farklıdır ($p<0,05$))

Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen PAH16 miktarları üzerine pişirme yöntemi x yağ oranı x pişirme seviyesi etkisinin Şekil 25'te gösterilmiştir. %10 yağlı örnekler için ısıtıcı plakada pişirme işleminde PAH16 miktarının artış gösterdiği, fakat az, orta ve çok pişmiş seviyeleri arasında istatistiksel olarak bir farklılığın olmadığı ($p>0,05$); mangalda pişirme işleminde ise pişirme seviyesine bağlı olarak PAH16 miktarının arttığı, ancak az ve orta pişmiş seviyelerindeki artışın önemli olmadığı bulunmuştur ($p>0,05$). %20 yağlı örneklerde her iki pişirme yönteminde de pişirme seviyesine bağlı olarak PAH16 miktarı artmışken ($p<0,05$), tüm pişirme seviyeleri için mangalda pişirme yönteminde daha yüksek ortalama değerler belirlenmiştir. %30 yağlı örneklerde ise ısıtıcı plakada pişirme işlemi için çiğ, az ve orta pişirme seviyelerinin farklılık göstermediği, fakat çok pişirme seviyesinin daha yüksek PAH16 miktarına neden olduğu görülmüştür. Mangalda %30 yağlı örneklerin pişirilmesinde ise pişirme seviyesi arttıkça toplam PAH16 miktarının da arttığı tespit edilmiştir. Bunlara ilaveten tüm yağ oranları için mangalda pişirmede ısıtıcı plakaya göre tüm pişirme seviyelerinde daha yüksek toplam PAH16 miktarları belirlenmiştir ($p<0,05$). Isıtıcı plakada pişirme işleminde tüm pişirme seviyeleri için %10 ve %20 yağlı örneklerde belirlenen PAH16 miktarları arasında önemli bir farklılığın olmadığı ($p>0,05$), fakat %30 yağlı örneklerde tüm pişirme seviyelerinde daha yüksek değerlerin elde edildiği görülmüştür ($p<0,05$). Mangalda pişirme işleminde ise çiğ ve az pişmiş seviyeleri için %10 ve %20 yağlı örnekler arasında farklılık olmadığı, %30 yağlı örneklerde toplam PAH16 miktarında artış meydana geldiği, orta ve çok pişmiş seviyeleri için ise yağ oranındaki artışa bağlı olarak toplam PAH16 miktarının arttığı belirlenmiştir.



Şekil 25. Isıl işlem görmüş sucuklarda belirlenen PAH16 miktarlarına ait pişirme yöntemi x yağ oranı x pişirme seviyesi interaksyonu (^{a-d}: Aynı yağ oranında farklı pişirme seviyelerinde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır (p<0,05), ^{A-C}: Aynı pişirme yöntemi için farklı yağ oranlarında farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır (p<0,05), ^{x-y}: Aynı yağ oranı ve pişirme seviyesinde farklı pişirme yönteminde farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki açıdan birbirinden farklıdır (p<0,05))

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Araştırma, farklı yağ oranlarında üretilen ısıt işlem görmüş sucukların farklı yöntem ve seviyelerde pişirilmesinin PAH oluşumu üzerine etkisinin belirlenmesi amacıyla kurulmuş ve yürütülmüştür. Ayrıca örneklerde fizikokimyasal analizler gerçekleştirilmiş ve ürün özellikleri belirlenmiştir. Pişirme yöntemi olarak ısıtıcı plaka ve mangal, pişirme seviyesi olarak ise çiğ, az, orta ve çok pişmiş seviyeleri kullanılmış ve %10, %20 ve %30 yağ oranları kullanılarak üretilen ısıt işlem görmüş sucuklarda yapılan analizler ve değerlendirmeler neticesinde aşağıda belirtilen genel sonuç ve önerilere ulaşılmıştır.

1. Isıt işlem görmüş sucukların pH değeri pişirme seviyesine bağlı olarak artmıştır. Bununla birlikte çalışma kapsamında tüm örneklerde belirlenen pH değerlerinin Türk Gıda Kodeksi Et, Hazırlanmış Et Karışımları ve Et Ürünleri tebliğinde verilen limiti aşmadığı görülmüştür.
2. Isıt işlem görmüş sucukların nem içeriği pişirme yöntemi, yağ oranı ve pişirme seviyesinden önemli seviyede etkilenmiştir. Kullanılan yağ oranı ve pişirme seviyesi arttıkça nem içeriğinde azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca, mangalda pişirme işleminde ısıtıcı plakaya göre daha yüksek nem içeriği değerleri belirlenmiştir.
3. Örneklerdeki yağ miktarının pişirme seviyesine bağlı olarak azaldığı, fakat orta ve çok seviyeleri arasında önemli bir farklılığın bulunmadığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte mangalda pişirilmiş örneklerde ısıtıcı plakaya göre daha yüksek yağ miktarları bulunmuş ve bu durumun farklı pişirme yöntemlerinde pişirme seviyeleri için uygulanan farklı sürelerden kaynaklandığı düşünülmüştür.
4. Isıt işlem görmüş sucuklarda nem ve yağ tutma değerlerinin tüm yağ oranları, pişirme seviyeleri ve yöntemlerinde önemli seviyede farklılık gösterdiği, en düşük nem tutma değerlerinin %30 yağlı örnekler ile çok seviyede pişirilen örneklerde elde edildiği görülmüştür. Benzer bir durum pişirme verimi için de gözlenmiştir.
5. Isıt işlem görmüş sucuklarda farklı yağ oranları, pişirme yöntemleri ve seviyelerinde IARC tarafından öncelikli kirletici listesinde verilen 16 PAH bileşiğinden 14 tanesi farklı miktarlarda tespit edilmiştir. EFSA tarafından kanserojen olarak nitelendirilen BaP miktarının üretimde kullanılan yağ oranı ve pişirme seviyesi arttıkça artış gösterdiği, ayrıca mangalda pişirme işleminde daha yüksek BaP miktarlarının belirlendiği görülmüştür.

6. Toplam PAH4 miktarının ısıl işlem görmüş sucuk üretiminde kullanılan yağ oranı ve pişirme seviyesine bağlı olarak artış gösterdiği, bununla birlikte mangalda pişirmenin daha yüksek seviyede PAH4 oluşumuna neden olduğu bulunmuştur. Toplam PAH8 ve PAH16 miktarları için de benzer durumlar tespit edilmiştir. PAH oluşumu açısından ısıl işlem görmüş sucuklarda yüksek yağ oranı ile pişirme seviyelerinin özellikle mangalda pişirme işleminde yüksek risk taşıdığı sonucuna ulaşılmıştır.
7. Mevcut bu çalışmada ısıl işlem görmüş sucuklar için en yüksek ortalama BaP ve PAH4 miktarları sırasıyla 1,23 µg/kg ve 21,80 µg/kg olarak tespit edilmiş ve bu değerlerin hem Avrupa Komisyonu tarafından belirlenen hem de Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Tebliği'nde ısıl işlem görmüş et ve et ürünleri için bildirilen sırasıyla 5 µg/kg ve 30 µg/kg maksimum BaP ve PAH4 limitlerinin altında kaldığı görülmüştür.

Elde edilen tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, ısıl işlem görmüş sucukların mangalda ileri derecede pişirilmesinin PAH açısından risk oluşturduğu, daha düşük pişirme seviyelerinde ısıtıcı plakada pişirme işleminin bu riski azaltabileceği kanaatine varılmıştır. Ayrıca üretimde kullanılan yağ oranının da PAH oluşumu açısından dikkate alınması gerektiği ve daha yüksek yağlı ürünlerin PAH açısından risk oluşturabileceği anlaşılmıştır. Bununla birlikte ısıl işlem görmüş sucukların özellikle mangalda pişirmesinde farklı pişirme koşullarının PAH oluşumu üzerine etkilerinin belirlendiği yeni çalışmalara da ihtiyaç olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Aaslyng, M.D., Duedahl-Olesen, L., Jensen, K., Meinert, L. 2013. Content of heterocyclic amines and polycyclic aromatic hydrocarbons in pork, beef and chicken barbecued at home by Danish consumers. *Meat Science*, 93(1), 85-91.
- Afe, O.H.I., Douny, C., Kpoclou, Y.E., Igout, A., Mahillon, J., Anihouvi, V., Hounhouigan, D.J., Scippo, M., 2020. Insight about methods used for polycyclic aromatic hydrocarbons reduction in smoked or grilled fishery and meat products for future re-engineering: A systematic review. *Food and Chemical Toxicology*, 141, 111372.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 1995. Toxicological profile for Polyaromatic Hydrocarbons-Update US Department of Health and Human Services, Atlanta, GA.
- Alomirah, H., Al-Zenki, S., Al-Hooti, S., Zaghloul, S., Sawaya, W., Ahmed, N., Kannan, K., 2011. Concentrations and dietary exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from grilled and smoked foods. *Food Control*, 22, 2028-2035.
- Andersen, Z.J., Raaschou-Nielsen, O., Ketznel, M., Jensen, S.S., Hvidberg, M., Loft, S., Tjønneland, A., Overvad, K., Sørensen, M., 2012. Diabetes incidence and long-term exposure to air pollution: a cohort study. *Diabetes Care*, 35, 92–98.
- Anderson, E.T. and Berry, B.W., 2001. Effects of inner pea fiber on fat retention and cooking yield in high fat ground beef. *Food Research International*, 34, 689–694.
- Anonim, 2019. Türk Gıda Kodeksi Et, Hazırlanmış Et Karışımları ve Et Ürünleri Tebliği (Tebliğ No: 2018/52), Sayı. 30670, Tarım ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- Anonim, 2023. Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği, Sayı 32360. Tarım ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- Anonymous, 2024. National Library of Medicine, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>
- AOAC, 2005. Chapter 39. Meat and meat products. Official methods of analysis. Editor: Horwitz, W., Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists.
- Armutçu, Ü., Hazar, F.Y., Yılmaz Oral, Z.F., Kaban, G., Kaya, M., 2020. Effects of different internal temperature applications on quality properties of heat-treated sucuk during production. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44, e14455.
- Arslan, M., 2023. Isıl işlem görmüş tavuk sucuğunda CML oluşumuna yağ oranı ve pişirme derecesinin etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Aşçıoğlu, Ç., 2013. Farklı pişirme yöntemlerinin sığır bonfilelerinin (*Longissimus dorsi*) besinsel ve kalite özellikleri üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Babaoğlu, A.S., 2023. Assessing the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled beef steak and beef patty with different charcoals by the quick, easy, cheap, effective, rugged and safe (QuEChERS) method with gas chromatography–mass spectrometry. *Food Science of Animal Resources*, 43 (5), 826-839.
- Babaoğlu, A.S., Karakaya, M., Öz, F., 2017. Formation of polycyclic aromatic hydrocarbons in beef and lamb kokorec: Effects of different animal fats. *International Journal of Food Properties*, 20:9, 1960-1970.

- Babic, J., Vidakovic, S., Boskovic, M., Glisic, M., Kartalovic, B., Skaljac, S., Nikolic, A., Cirkovic, M., Teodorovic, V., 2020. Content of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked common carp (*Cyprinus Carpio*) in direct conditions using different filters vs indirect conditions. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 40:3, 889-897.
- Babic, J.M., Kartalovic, B.D., Skaljac, S., Vidakovic, S., Ljubojevic, D., Petrovic, J.M., Cirkovic, M.A., Teodorovic, V., 2018. Reduction of polycyclic aromatic hydrocarbons in common carp meat smoked in traditional conditions. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 11:3, 208-213.
- Bansal, V., Kim, K.H., 2015. Review of PAH contamination in food products and their health hazards. *Environment International*, 84, 26-38.
- Bartkiene, E., Bartkevics, V., Mozurienne, E., Krungleviciute, V., Novoslavskij, A., Santini, A., Rozentale, I., Juodeikiene, G., Cizeikiene, D., 2017. The impact of lactic acid bacteria with antimicrobial properties on biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons and biogenic amines in cold smoked pork sausages. *Food Control*, 71, 285-292.
- Bartle, K.D., 1991. Analysis and occurrence of PAHs in food. In C.S. Creaser & R. Purchase (Eds.), *Food contaminants: Sources and surveillance* (pp. 41-60). Cambridge: Royal Society of Chemistry.
- Bostan, S., 2021. Farklı pişirme yöntemlerinin Akçaabat köftesinde polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) oluşumuna etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Gümüşhane.
- Büyükkurt, Ö.K., Dinçer, E.A., Çam, İ.B., Candal, C., Erbaş, M., 2020. The influence of cooking methods and some marinades on polycyclic aromatic hydrocarbon formation in beef meat. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 40 (2), 195-205.
- Cannel, L.E., Savell, J.W., Smith, S.B., Cross, H.R., John, L.C. ST., 1989. Fatty acid composition and caloric value of ground beef containing low levels of fat. *Journal of Food Science*, 54 (5), 1163.
- Carballo, J., Mota, N., Barreto, G., Jimenez Colmenero, F., 1995. Binding properties and colour of bologna sausage made with varying fat levels, protein levels and cooking temperatures. *Meat Science*, 41 (3), 301-313.
- Cavalieri, E., and Rogan, E., 2014. The molecular etiology and prevention of estrogen-initiated cancers: Ockham's Razor: Pluralitas non est ponenda sine necessitate. Plurality should not be posited without necessity. *Molecular Aspects of Medicine*, 36, 1-55.
- Chen, B.H., and Lin, Y.S. 1997. Formation of polycyclic aromatic hydrocarbons during processing of duck meat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 1394-1403.
- Choi, J., Yoo, H.J., Hwang, D-Y., Moon, B., Joo, Y-S., Lee, K-W., 2022. Risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in meat and edible oils: results of a total diet study in South Korea. *Food Science and Biotechnology*, 31, 1523–1535.
- Choi, Y. S., Sung, J. M., Park, J. D., Hwang, K. E., Lee, C. W., Kim, T. K., Jeon, K. H., Kim, C. J., & Kim, Y. B., 2016. Quality and sensory characteristics of reduced fat chicken patties with pork back fat replaced by dietary fiber from wheat sprout. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 36(6), 799–806.
- Choi, Y-S., Kim, H-W., Hwang, K-E., Song, D-H., Jeong, T-J., Kim, Y-B., Jeon, K-H., Kim, C-J., 2015. Effects of fat levels and rice bran fiber on the chemical, textural, and sensory properties of frankfurters. *Food Science and Biotechnology*, 24 (2), 489-495.

- Chung, S.Y., Yettella, R.R., Sim, J.S., Kwon, K., Kim, M.C., Min, D.B., 2011. Effects of grilling and roasting on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in beef and pork. *Food Chemistry*, 129 (4), 1420-1426.
- Cordeiro, T., Viegas, O., Silva, M., Martins, Z.E., Fernandes, I., Ferreira, I.M.L.P.V.O., Pinho, O., Mateus, N., Calhau, C., 2021. Inhibitory effect of vinegars on the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons in charcoal-grilled pork. *Meat Science*, 167, 108083.
- Duedahl-Olesen, L., Aaslyng, M., Meinert, L., Christensen, T., Jensen, A.H., Binderup, M.-L., 2015. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in Danish barbecued meat. *Food Control*, 57, 169-176.
- El Hussein, M., Makkouk, R., Rabaa, A., Al Omar, F., Jaber, F., 2018. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH4) in the traditional Lebanese grilled chicken: implementation of new, rapid and economic analysis method. *Food Analytical Methods*, 11 (1), 201–214.
- El Hussein, M., Mourad, R., Rahim, H. A., Omar, F.A., Jaber, F., 2021. Assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH4) in the traditional lebanese grilled meat products and investigation of broasted frying cooking method and meat size on the PAH4 formation. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 41 (1), 124-142.
- European Commission(EC), 2005. Regulation No 208/2005 of 4 February 2005 amending Regulation (EC) No 466/2001 as regards polycyclic aromatic hydrocarbons. *Official Journal of the European Union*, L34, 3–5.
- European Commission(EC), 2011. Regulation No 1881/2006 as regards maximum levels for polycyclic aromatic hydrocarbons in foodstuffs. *Off. J. Eur. Union* L 215/4, 1-5.
- Farhadian, A., Jinap, S., Abas, F., Sakar, Z.I., 2010. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meat. *Food Control*, 21, 606-610.
- Farhadian, A., Jinap, S., Hanifah, H.N., Zaidul, I.S., 2011. Effects of meat preheating and wrapping on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in charcoal-grilled meat. *Food Chemistry*, 124, 141-146.
- Garcia, M.L., Dominguez, R., Galvez, M.D., Casas, C., Selgas, M.D., 2002. Utilization of cereal and fruit fibres in low fat dry fermented sausages. *Meat Science*, 60, 227-236.
- Ghorbani, M., Saleh, H.N., Barjasteh- Askari, F., Nasser, S., Davoudi, M., 2020. The effect of gas versus charcoal open flames on the induction of polycyclic aromatic hydrocarbons in cooked meat: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 18, 345–354.
- Godsalve, E.W., Davis, E.A., Gordon, J., Davis, H.T., (1977). Water loss rates and temperature profiles of dry cooked bovine muscle. *Journal of Food Science*, 42 (4): 1038–1045.
- Gomes, A., Santos, C., Almeida, J., Elias, M., Roseiro, L.C., 2013. Effect of fat content, casing type and smoking procedures on PAHs contents of Portuguese traditional dry fermented sausages. *Food and Chemical Toxicology*, 58, 369–374.
- Gorji, M.E., Ahmadkhaniha, R., Moazzen, M., Yunesian, M., Azari, A., Rastkari, N., 2016. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Iranian Kebabs, *Food Control*, 60, 57-63.
- Gökalp, H.Y., Kaya, M., Tülek, Y., Zorba, Ö., 2010. Et ve ürünlerinde kalite kontrolü ve laboratuvar uygulama kılavuzu. Atatürk Üniversitesi Yayın No: 751, Ziraat Fakültesi Yayın No: 318, Ders Kitapları Serisi No: 63, Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Ofset Tesisi, Erzurum.

- Gökalp, H.Y., Kaya, M., Zorba, Ö., 2012. Et ürünleri işleme mühendisliği. Atatürk Üniversitesi Yayın No:786, Ziraat Fak. Yayın No: 320, Ders Kitapları Serisi No:70, Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Ofset Tesisi, Erzurum.
- Haiba, N.S., Asaal, A.M., El Massry, A.M., Ismail, I., Basahi, J., Hassan, İ.A., 2019. Effects of “Doneness” level on PAH concentrations in charcoal-grilled beef and chicken: An Egyptian study case. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 41 (3), 553-563.
- Halagarda, M., and Wojciak, K.M., 2022. Health and safety aspects of traditional European meat products. A review. *Meat Science*, 184, 108623.
- Hamidi, E.N., Hajeb, P., Selamat, J., Lee, S.Y., Razis, A.F.A., 2022. Bioaccessibility of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in grilled meat: The effects of meat doneness and fat content. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, 736.
- Hamidi, E.N., Hajeb, P., Selamat, J., Razis, A.F.A., 2016. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their bioaccessibility in meat: A tool for assessing human cancer risk. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 17, 15-23.
- Hokkanen, M., Luhtasela, U., Kostamo, P., Ritvanen, T., Peltonen, K., Jestoi, M., 2018. Critical effects of smoking parameters on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in traditionally smoked fish and meat products in Finland. *Journal of Chemistry*, 2160958.
- Hu, G., Cai, K., Li, Y., Hui, T., Wang, Z., Chen, C., Xu, B., Zhang, D., 2021. Significant inhibition of garlic essential oil on benzo[a]pyrene formation in charcoal-grilled pork sausages relates to sulfide compounds. *Food Research International*, 141,110127.
- Hu, H., Kan, H., Kearney, G.D., Xu, X., 2015. Associations between exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and glucose homeostasis as well as metabolic syndrome in nondiabetic adults. *Science of The Total Environment*, 505, 56–64.
- Huang, M., and Penning, T.M., 2014. Processing contaminants: Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). *Encyclopedia of Food Safety*, 2, 416-423.
- Hwang, M-J., Kang, S-J., Kim, H-S., Lee, K-W., 2019. Reduction of the polycyclic aromatic hydrocarbon levels in dried red peppers (*Capsicum annuum* L.) using heat pump-assisted drying. *Food Chemistry*, 297, 124977.
- Janoszka, B., 2011. HPLC-fluorescence analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in pork meat and its gravy fried without additives and in the presence of onion and garlic. *Food Chemistry*, 126 (3), 1344–1353.
- Jiang, D., Wang, G., Li, L., Wang, X., Li, W., Li, X., Shao, L., Li, F., 2018. Occurrence, dietary exposure, and health risk estimation of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled and fried meats in Shandong of China. *Food Science & Nutrition*, 6 (8), 2431–2439.
- Kaban, G., and Kaya, M., 2008. Identification of lactic acid bacteria and Gram- positive catalase-positive cocci isolated from naturally fermented sausage (sucuk). *Journal of Food Science*, 73, 385-388.
- Kaban, G., Yılmaz Oral, Z.F., and Kaya, M., 2022. Sucuk. *Production of Traditional Mediterranean Meat Products*, Ed: José Manuel Lorenzo, Rubén Domínguez, Mirian Pateiro, Paulo E.S. Munekata. Springer Nature, New York, U.S.A., 133-141.
- Kafouris, D., Koukkidou, A., Christou, E., Hadjigeorgiou, M., Yiannopoulos, S., 2020. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in traditionally smoked meat products and charcoal grilled meat in Cyprus. *Meat Science*, 164, 108088.

- Karshoğlu, B., and Kolsarıcı, N., 2023. The effects of fat content and cooking procedures on the PAH content of beef doner kebabs. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 43 (4), 3291-3304.
- Kaya, M., Güllüce, M., Kaban, G., Çınar, K., Karadayı, M., Bozoğlu, C., Sayın, B., Alaylar, B., 2015. Geleneksel sucuklardan izole edilen laktik asit bakteri ve koagülaz negatif stafilokok suşlarının starter kültür olarak kullanım imkânları. TAGEM-13/ARGE/7 (Gelişme Raporu), Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Ankara.
- Kendirci, P., Icier, F., Kor, G., Onogur, T.A., 2014. Influence of infrared final cooking on polycyclic aromatic hydrocarbon formation in ohmically pre-cooked beef meatballs. *Meat Science*, 97, 123-129.
- Khalili, F., Shariatifar, N., Dehghani, M. H., Yaghmaeian, K., Nodehi, R. N., Yaseri, M., Moazzen, M., 2023. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in meat, poultry, fish and related product samples of Iran: a risk assessment study. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 21, 215–224.
- Kirkyol, M., and Akköse, A., 2023. Effects of animal fat replacement with almond flour on quality parameters of beef patties. *Food Science & Nutrition*, 11, 7091–7099.
- Larsson, B.K., Sahlberg, G.P., Eriksson, A.T., Busk, L.A., 1983. Polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled food. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 31 (4), 867-873.
- Ledesma, E., Rendueles, M., Díaz, M., 2014. Benzo (a) pyrene penetration on a smoked meat product during smoking time. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 31 (10), 1688–1698.
- Ledesma, E., Rendueles, M., Díaz, M., 2016. Contamination of meat products during smoking by polycyclic aromatic hydrocarbons: processes and prevention. *Food Control*, 60, 64–87.
- Lee, J., Han, J., Jung, M., Lee, K., Chung, M., 2020. Effects of thawing and frying methods on the formation of acrylamide and polycyclic aromatic hydrocarbons in chicken meat. *Foods*, 9 (5), 573.
- Lee, J.G., Kim, S.Y., Moon, J.S., Kim, S.H., Kang, D.H., Yoon, H.J., 2016. Effects of grilling procedures on levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meats. *Food Chemistry*, 199, 632–638.
- Li, W., and Wu, S., 2024. Halogenated polycyclic aromatic hydrocarbons in Chinese traditional sausages with high salt: Profiles in market samples and formation during home cooking. *Food Chemistry*, 430, 136929.
- Mastanjević, K., Kartalović, B., Petrović, J., Novakov, N., Puljić, L., Kovačević, D., Jukić, M., Lukinac, J., Mastanjević, K., 2019. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the traditional smoked sausage Slavonska kobasica. *Journal of Food Composition and Analysis*, 83, 103282.
- Mastanjević, K., Kartalović, B., Puljić, L., Kovačević, D. ve Habschied, K. 2020. Influence of different smoking procedures on polycyclic aromatic hydrocarbons formation in traditional dry sausage Hercegovačka kobasica. *Proseses*, 8, 918.
- McGrath, T.E., Wooten, J.B., Geoffrey Chan, W., Hajaligol, M.R., 2007. Formation of polycyclic aromatic hydrocarbons from tobacco: the link between low temperature residual solid (char) and PAH formation. *Food and Chemical Toxicology*, 45 (6), 1039–1050.

- Nacak, B., 2015. Farklı yağ formülasyonlarına sahip ısıtıl işlem görmüş dana sucuklarında lipid ve protein oksidasyonu mekanizmalarının incelenmesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Nie, W., Cai, K., Li, Y., Hu, G., Xing, W., Wang, X., Wang, Y., Chen, C., 2020. Application of grape seed extract lead to a higher formation of polycyclic aromatic hydrocarbons in roasted pork sausage at the end of storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44, e14532.
- Omoruyi, I.M., Hokkanen, M., Pohjanvirta, R., 2020. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in select commercially processed meat and fish products in Finland and the mutagenic potential of these food items. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 40 (4), 927-933.
- Onopiuk, A., Kolodziejczak, K., Marcinkowaka-Lesiak, M., Wojtasik-Kalinowska, I., Szpicer, A., Stelmasiak, A., Poltorak, A., 2022. Influence of plant extract addition to marinades on polycyclic aromatic hydrocarbon formation in grilled pork meat. *Molecules*, 27 (1), 175.
- Orecchio, S., Ciotti, V. P., Culotta, L., 2009. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coffee brew samples: Analytical method by GC-MS, profile, levels and sources. *Food and Chemical Toxicology*, 47 (4), 819-826.
- Öven, D.C., Karakaya, M., Ünal, K., Babaoğlu, A.S., 2017. Determination of some physicochemical and textural properties of the sucuk with fat content in various rates. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 31 (3), 94-100.
- Öz, F., and Yuzer, M.O., 2016. The effects of cooking on wire and stone barbecue at different cooking levels on the formation of heterocyclic aromatic amines and polycyclic aromatic hydrocarbons in beef steak. *Food Chemistry*, 203, 59-66.
- Palm, L.M.N., Carboo, D., Yeboah, P.O., Quasie, W.J., Gorleku, M.A., Darko, A., 2011. Characterization of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) present in smoked fish from Ghana. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 3, 332-338
- Pan, Y., Deng, Z., Chen, Y., Zhang, W., Yang, Z., Zhao, W., Zhang, S., 2017. Determination of benzo[a]pyrene in smoked foods by high-performance liquid chromatography based on magnetic solid phase extraction. *Analytical Methods*, 9 (39), 5763-5768.
- Park, K-C., Pyo, H-S., Kim, W-S., Yoon, K.S., 2017. Effects of cooking methods and tea marinades on the formation of benzo[a]pyrene in grilled pork belly (Samgyeopsal). *Meat Science*, 129, 1-8.
- Pereira, P.M.C.C., and Vicente, A.F.R.B., 2013. Meat nutritional composition and nutritive role in the human diet. *Meat Science*, 93, 586-592.
- Phillips, D.H., and Grover, P.L., 1994. Polycyclic aromatic hydrocarbon activation: Bay regions and beyond. *Drug Metabolism Reviews*, 26, 443-467.
- Plaza-Bolanós, P., Frenich, A.G., Vidal, J.L.M., 2010. Polycyclic aromatic hydrocarbons in food and beverages. Analytical methods and trends. *Journal of Chromatography A*, 1217, 6303-26.
- Pöhlmann, M., Hitzel, A., Schwagele, F., Speer, K., Jira, W., 2013. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and phenolic substances in smoked Frankfurter-type sausages depending on type of casing and fat content. *Food Control*, 31, 136-144.
- Puljić, L., Mastanjević, K., Kartalović, B., Kovačević, D., Vranešević, J., Mastanjević, K., 2019. The influence of different smoking procedures on the content of 16 PAHs in traditional dry cured smoked meat "Hercegovačka Pečenica". *Foods*, 8, 690.

- Rascon, A.J., Azzouz, A., Ballesteros, E., 2019. Trace level determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in raw and processed meat and fish products from European markets by GC-MS. *Food Control*, 101, 198-208.
- Rose, M., Holland, J., Dowding, A., Petch, S.R.G., White, S., Fernandes, A., Mortimer, D., 2015. Investigation into the formation of PAHs in foods prepared in the home to determine the effects of frying, grilling, barbecuing, toasting and roasting. *Food and Chemical Toxicology*, 78, 1–9.
- Roseiro, L.C., Gomes, A., Patarata, L., Santos, C., 2012. Comparative survey of PAHs incidence in Portuguese traditional meat and blood sausages. *Food and Chemical Toxicology*, 50,1891-1896.
- Roseiro, L.C., Gomes, A., Santos, C., 2011. Influence of processing in the prevalence of polycyclic aromatic hydrocarbons in a Portuguese traditional meat product. *Food and Chemical Toxicology*, 49, 1340-1345.
- Rozentale, I., Zacs, D., Bartkiene, E., Bartkevics, V., 2018. Polycyclic aromatic hydrocarbons in traditionally smoked meat products from the Baltic states. *Food Additives & Contaminants:Part B*, 11 (2), 138-145.
- Samarajeewa, U., 2023. Polycyclic aromatic hydrocarbons and food safety: A review. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka*, 51 (2), 185-204.
- Santos, C., Gomes, A., Roseiro, L.C., 2011. Polycyclic aromatic hydrocarbons incidence in Portuguese traditional smoked meat products. *Food and Chemical Toxicology*, 49, 2343-2347.
- Saraç, S., 2019. Isıl işlem görmüş sucuğun bazı fizikokimyasal ve tekstürel özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
- Semanova, J., Sklarsova, B., Simon, P., Simko, P., 2016. Elimination of polycyclic aromatic hydrocarbons from smoked sausages by migration into polyethylene packaging. *Food Chemistry*, 201, 1–6.
- Serdaroğlu, M., 2006. Improving low fat meatball characteristics by adding whey powder. *Meat Science*, 72, 155-163.
- Serdaroğlu, M., and Demircioğlu, Ö., 2004. Effects of fat level (5%, 10%, 20%) and corn flour (0%, 2%, 4%) on some properties of Turkish type meatballs (koefte). *Meat Science*, 68, 291-296.
- Serrano, A., Librelotto, J., Cofrades, S., Sanchez-Muniz, F.J., Jimenez-Colmenero, F., 2007. Composition and physicochemical characteristics of restructured beef steaks containing walnuts as affected by cooking method. *Meat Science*, 77, 304-313.
- Sharifiarab, G., Ahmadi, M., Shariatifar, N., Ariaii, P., 2023. Investigating the effect of type of fish and different cooking methods on the residual amount of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in some Iranian fish: A health risk assessment. *Food Chemistry: X*, 19, 100789.
- Simko, P., 2002. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked meat products and smoke flavouring food additives. *Journal of Chromatography B*, 770, 3–18.
- Singh, L., Varshney, J.G., Agarwal, T., 2016. Polycyclic aromatic hydrocarbons' formation and occurrence in processed food. *Food Chemistry*, 199, 768–781.
- Skaljic, S., Jokanovic, M., Tomovic, V., Ivic, M., Tasic, T., Ikonic, P. Sojic, B., Dzinic, N., Petrovic, L., 2018. Influence of smoking in traditional and industrial conditions on colour and content of polycyclic aromatic hydrocarbons in dry fermented sausage “Petrovska klobasa”. *LWT - Food Science and Technology* , 87, 158-162.

- Skaljac, S., Jokanovic, M., Tomovic, V., Kartalovic, B., Ikonc, P., Cucevic, N., Vranesevic, J., Ivic, M., Sojic, B., Peulic, T., 2023. Influence of traditional smoking on the content of polycyclic aromatic hydrocarbons in dry fermented beef sausage from Serbia. *Food Control*, 150, 109766.
- Skaljac, S., Jokanovic, M., Tomovic, V., Sojic, B., Ikonc, P., Peulic, T., Ivic, M., Vranesevic, J., Kartalovic, B., 2022. Color characteristics and content of polycyclic aromatic hydrocarbons of traditional dry fermented sausages throughout processing in controlled conditions. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 42 (6), 3124-3134.
- Skaljac, S., Petrovic, L., Tasic, T., Ikonc, P., Jokanovic, M., Tomovic, V., Dzinic, N., Sojic, B., Tjapkin, A., Skrbic, B., 2014. Influence of smoking in traditional and industrial conditions on polycyclic aromatic hydrocarbons content in dry fermented sausages (Petrovská klobása) from Serbia. *Food Control*, 40, 12-18.
- Soncu, E.D., Kolsarıcı, N., Çiçek, N., Öztürk, G.S., Akoğlu, İ.T., Arıcı, Y.K., 2015. Comparative effect of carrot and lemon fiber as a fat replacer on physico-chemical, textural, and organoleptic quality of low-fat beef hamburger. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 35 (3), 370-381.
- Soyer, A., Ertaş, A.H., Üzümcüoğlu, Ü., 2005. Effect of processing conditions on the quality of naturally fermented Turkish sausages (sucuks). *Meat Science*, 69, 135-141.
- Suman, S.P., and Sharma, B.D., 2003. Effect of grind size and fat levels on the physico-chemical and sensory characteristics of low-fat ground buffalo meat patties. *Meat Science*, 65, 973-976.
- Sun, Y., Wu, S., Gong, G. 2019. Trends of research on polycyclic aromatic hydrocarbons in food: A 20-year perspective from 1997 to 2017. *Trends in Food Science & Technology*, 83, 86-98.
- Szternfeld, P., Marchi, J., Malysheva, S.V., Joly, L., 2019. Modular method for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in spices and dried herbs by gas chromatography–tandem mass spectrometry. *Food Analytical Methods*, 12, 2383-2391.
- Terzi, G., Çelik, H.T., Nisbet, C., 2008. Determination of benzo[a]pyrene in Turkish döner kebab samples cooked with charcoal org as fire. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 47, 187-193.
- Tornberg, E., Olsson, A., & Persson, K. (1989). A comparision in fat holding between hamburgers and emulsion sausages. In *Proceedings of the 35th international congress on meat science and technology* (pp.753–757), 24–26 September 1989. Denmark: Copenhagen.
- Troutt, E.S., Hunt, M.C., Johnson, D.E., Claus, J.R., Kastner, C.L., Kropf, D. H., 1992. Characteristics of low-fat ground beef containing texture-modifying ingredients. *Journal of Food Science*, 57 (1), 19-24.
- Viegas, O., Novo, P., Pinto, E., Pinho, O., Ferreira, I.M. P.L.V.O., 2012. Effect of charcoal types and grilling conditions on formation of heterocyclic aromatic amines (HAs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in grilled muscle foods. *Food and Chemical Toxicology*, 50, 2128–2134.
- Wang, H., Wang, C. Li, C., Xu, X., Zhou, G., 2019. Effects of phenolic acid marinades on the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons in charcoal-grilled chicken wings. *Journal of Food Protection*, 82 (4), 684-690.
- Wang, Y., Jiao, Y., Kong, Q., Zheng, F., Shao, L., Zhang, T., Jiang, D., Gao, X., 2021. Occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbons in fried and grilled fish from Shandong

China and health risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 32802–32809.

- WHO/IARC (World Health Organization/International Agency for Research on Cancer), 2012. International agency for research on cancer monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, vol. 100 F. Lyon, available at: <https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono100F.pdf>.
- Wik, A., and Tkacz, K., 2017. Grilled versus fire-roasted sausage-the content of polycyclic aromatic hydrocarbons and health safety. *Polish Journal of Natural Sciences*, 32 (3), 461–470.
- Wretling, S., Eriksson, A., Eskhult, G.A., Larsson, B., 2010. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Swedish smoked meat and fish. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23, 264-272.
- Xia, Z., Duan, X., Tao, S., Qiu, W., Liu, D., Wang, Y., Hu, X., 2013. Pollution level, inhalation exposure and lung cancer risk of ambient atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Taiyuan, China. *Environ. Pollut.* 173, 150–156.
- Yılmaz Oral, Z.F., 2022. Kereviz tozu kullanımının ısıtıl işlem görmüş sucukta nitrozamin oluşumuna ve ürün özelliklerine etkisi. Doktora Tezi, Erzurum.
- Zastrow, L., Schwind, K-H., Schwagele, F., Speer, K., 2019. Influence of smoking and barbecuing on the contents of anthraquinone (atq) and polycyclic aromatic hydrocarbons (pahs) in Frankfurter-type sausages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67, 13998–14004.
- Zhang, X-M., Xu, C-Y., Hui, T., Cai, K-Z., Chen, C-G., Xu, B-C., 2023. Vinegars inhibiting of the generation of BaP in barbecued pork sausages by decreasing the pH and free radical scavenging. *Food Control*, 145, 109404.
- Zhu, Y., Li, X., Huang, J., Zhao, C., Qi, J., Jin, Q., Wang, X., 2018. Correlations between polycyclic aromatic hydrocarbons and polar components in edible oils during deep frying of peanuts. *Food Control*, 87, 109–116.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Mine KIRKYOL
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
Adres:	
Tel:	
E-mail:	
Eğitim	
Lise:	Nenehatun Kız Lisesi
Lisans:	Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü (2011-2015)
Yüksek lisans:	Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Bölümü (2015-2019)
Doktora:	Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Bölümü
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	Orta
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar	
Tezden Üretilmiş Yayınlar	