

T. C.
AYDIN ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
2025-YL-018

SICAK HAVADA KIZARTMA İŞLEMİNİN PATATESLERDE
3-MONOKLOROPROPAN-1,2-DİOL ve GLİSİDİL ESTER
OLUŞUMUNA ETKİSİ

Kenan YAVUZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Aslı YORULMAZ

İKİNCİ DANIŞMAN
Dr. Derya DENİZ ŞİRİNYILDIZ

AYDIN - 2025

KABUL VE ONAY

T.C. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı öğrencisi Kenan YAVUZ tarafından hazırlanan “SICAK HAVADA KIZARTMA İŞLEMİNİN PATATESLERDE 3-MONOKLOROPROPAN-1,2-DİOL ve GLİSİDİL ESTER OLUŞUMUNA ETKİSİ” başlıklı tez, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 04/02/2025

Jüri Üyeleri

ONAY:

Başkan : Doç. Dr. Sündüz Sezer KIRALAN

Balıkesir Üniversitesi

Üye (T.D.) : Prof. Dr. Aslı YORULMAZ

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Aslı ZUNGUR BASTIOĞLU

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi

Bu tez Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki jüri tarafından uygun görülmüş ve Fen Bilimleri Enstitüsünün tarih ve sayılı oturumunda alınan numaralı Yönetim Kurulu kararıyla kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ethem AKTÜRK

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisansım ve tüm çalışmalarım boyunca bilgisiyle bana ışık olan ve yol gösteren, desteğini hiçbir zaman benden eksik etmeyen, hoşgörüsüyle tüm zor zamanlarımızı beraber atlattığımız çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Aslı YORULMAZ'a çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince benden hiçbir desteğini esirgemeyen, sevgisiyle şefkatiyle beni çalışmalarına daha çok bağlayan, bana çalışmalarım dışında da birçok şey öğreten çok sevdiğim değerlim Derya DENİZ ŞİRİNYILDIZ'a çok teşekkür ederim.

Sadece yüksek lisans dönemim boyunca değil hayatımın her alanında beni seven, beni her koşulda destekleyen benden sevgisini eksik etmeyen her şeyden önce bana bu sevgiyi ve desteği hissettiren herkese çok teşekkür ederim.



BİLİMSEL ETİK BEYANI

“SICAK HAVADA KIZARTMA İŞLEMİNİN PATATESLERDE 3-MONOKLOROPROPAN-1,2-DİOL ve GLİSİDİL ESTER OLUŞUMUNA ETKİSİ” başlıklı Yüksek Lisans tezindeki bütün bilgileri etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yaptığımı bildiririm. İfade ettiklerimin aksi ortaya çıktığında ise her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Kenan YAVUZ

04/02/2025



İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
TEŞEKKÜR	iii
BİLİMSEL ETİK BEYANI	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER DİZİNİ	xi
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
RESİMLER DİZİNİ	xvii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xix
ÖZET	xxi
ABSTRACT	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. Gıda Endüstrisinde Kızartma İşlemi ve Önemi.....	3
2.2. Derin Yağda Kızartma	3
2.3. Kızartma Sırasında Yağda Meydana Gelen Kimyasal Reaksiyonlar.....	5
2.3.1. Yağın Hidrolizi	6
2.3.2. Yağın Oksidasyonu	7
2.3.3. Yağın Polimerizasyonu	9
2.4. Kızartma Sırasında Yağlarda Meydana Gelen Fiziksel ve Kimyasal Değişimler ...	10
2.5.3-MCPD ve Glisidil Esterleri	11
2.6. Sıcak Havada Kızartma İşlemi	14
2.6.1. Sıcak Havada Kızartma Fritözünün Çalışma Prensibi	16

2.6.2. Sıcak Havada Kızartma İşleminin Gıda Kalitesine Etkileri.....	17
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	23
3.1. Materyal	23
3.2. Yöntem	23
3.2.1. Patates Örneklerinin Hazırlanması ve Kızartma	23
3.2.2 Patates örneklerinden yağ ekstraksiyonu	25
3.2.3. Kızartma işleminin Optimizasyonu.....	25
3.2.4. Derin Yağda Kızartma	27
3.2.5. Kızartma Yağında Yapılan Analizler	27
3.2.5.1. 3-MCPD-E ve G-E Analizi	27
3.2.5.1.1. Çözeltiler	27
3.2.5.1.2. Analizin Aşamaları	28
3.2.5.1.3. GC-MS Çalışma Koşulları	30
3.2.5.1.4. Sonuçların Hesaplanması	31
3.2.5.2. Peroksit Sayısı.....	33
3.2.5.3. Yağ Asidi Bileşimi.....	33
3.2.5.4. Tokoferol Bileşimi.....	34
3.2.6. Kızartılmış Patateste Yapılan Analizler.....	35
3.2.6.1. Nem Miktarı	35
3.2.6.2. Yağ Miktarı.....	35
3.2.6.3. Renk Değerleri	36
3.2.6.4. Duyusal Analiz	37
3.2.7. İstatistiki Değerlendirme	38
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	39
4.1. Kızartma İşleminin İşlem Parametreleri Üzerine Etkisi	39
4.1.1. Kızartma İşleminde Modelin Oluşturulması	42

4.1.2. Kızartma İşlemi Koşullarının Optimizasyonu ve Deneysel Doğrulama	57
4.2. Sıcak Havada Kızartma ve Derin Yağda Kızartma İşleminin Kıyaslanması.....	58
4.3. Kızartılmış Patateslerin Özellikleri	60
4.3.1. Nem Miktarı	60
4.3.2. Yağ Miktarı	61
4.3.3. Renk Değerleri.....	62
4.3.4. Duyusal Analiz Sonuçları	64
5. SONUÇ.....	69
KAYNAKLAR	71
EKLER	83
ÖZ GEÇMİŞ.....	85

SİMGELER DİZİNİ

a*	Kırmızılık
α	Alfa
b*	Sarılık
β	Regresyon Katsayısı
dk.	Dakika
g	Gram
kg	Kilogram
KOH	Potasyum Hidroksit
L*	Parlaklık
m/z	Kütle/Yük
meq	Miliekivalen
mg	Miligram
mm	Milimetre
NaBr	Sodyum Bromür
NaCl	Sodyum Klorür
NaOH	Sodyum Hidroksit
O₂	Oksijen
R°	Radikal
R²	Uyum Katsayısı
%	Yüzde
ΔE	Renk Farkı Değeri
°C	Sıcaklık
μg	Mikrogram



KISALTMALAR DİZİNİ

3-MCPD	3-Monokloropropan-1,2-Diol
ANOVA	Varyans Analizi (Analysis of Variance)
BBD	Box-Behnken Tasarımı
C.V.	Varyasyon Katsayısı
CCD	Merkezi Tümlşik Dizayn (Central Composite Design)
ÇDYA	Çoklu Doymamış Yağ Asidi
EFSA	Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (European Food Safety Authority)
FCCD	Yüz Merkezi Kompozit Tasarım
FCD	Yüz Merkezi Tasarım
FFA	Serbest Yağ Asitleri
FFD	Tam Faktöriyel Tasarım
GC	Gaz Kromatografisi
GC-MS	Gaz Kromatografisi - Kütle Spektrometresi
G-E	Glisidil Ester
HPLC	Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi
HS-SPME	Katı Faz Mikroekstraksiyonu
IARC	Ulusal Kanser Araştırmaları Ajansı
LC-MS	Sıvı Kromatografisi-Kütle Spektrometresi
PBA	Fenilboronik Asit
RSM	Yanıt Yüzey Yöntemi (Responce Surface Methodology)
SCCD	Küp Tarzı Merkezi Kompozit Tasarım
TBME	Tert-Bütıl Metıl Eter
UV	Ultraviyole



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kızartma esnasında gıdada meydana gelen ısı ve kütle transferinin şematik gösterimi (Bal ve Küçüköner, 2023).....	4
Şekil 2.2. Kızartma işlemi uygulanmış ürüne dair bir kesit (Demirel Demiray, 2023).....	5
Şekil 2.3. Hidrolitik reaksiyon (Gupta, 2004; Uslu, 2014)	7
Şekil 2.4. Oksidasyon mekanizması (Gupta, 2004; Uslu, 2014).....	8
Şekil 2.5. 3-MCPD'nin kimyasal yapısı.....	11
Şekil 2.6. Sıcak hava fritözünün şematik gösterimi (Bal ve Küçüköner, 2023)	17
Şekil 2.7. Sıcak hava fritözünün ana bölümleri.....	17
Şekil 3.1. Patates örneklerinin hazırlanması ve kızartma işleminin şematik gösterimi	24
Şekil 3.2. 3-MCPD-E ve glisidil ester analiz aşamaları	29
Şekil 3.3. İç standart (3-MCPD-d5) ve 3-MCPD'ye ait örnek GC-MS kromatogramı	30
Şekil 3.4. Kalibrasyon grafiği	32
Şekil 3.5. α -tokoferole ait kalibrasyon grafiği.....	34
Şekil 4.1. Kızartma işleminde deneysel ve tahminlenen 3-MCPD-E verilerinin karşılaştırılması.....	44
Şekil 4.2. Kızartma işleminde deneysel ve tahminlenen G-E verilerinin karşılaştırılması.....	46
Şekil 4.3. Kızartma işleminde 3-MCPD-E düzeyi için sabit yağ ve tuz oranında yanıt yüzey grafiği	47
Şekil 4.4. Kızartma işleminde 3-MCPD-E düzeyi için sabit süre ve tuz oranında yanıt yüzey grafiği	48
Şekil 4.5. Kızartma işleminde 3-MCPD-E düzeyi için sabit süre ve yağ oranında yanıt yüzey grafiği	48
Şekil 4.6. Kızartma işleminde 3-MCPD-E düzeyi için sabit sıcaklık ve tuz oranında yanıt yüzey grafiği	49

Şekil 4.7. Kızartma işleminde 3-MCPD-E düzeyi için sabit sıcaklık ve yağ oranında yanıt yüzey grafiği.....	50
Şekil 4.8. Kızartma işleminde 3-MCPD-E düzeyi için sabit sıcaklık ve sürede yanıt yüzey grafiği.....	51
Şekil 4.9. Kızartma işleminde G-E düzeyi için sabit yağ ve tuz oranında yanıt yüzey grafiği	52
Şekil 4.10. Kızartma işleminde G-E düzeyi için sabit süre ve tuz oranında yanıt yüzey grafiği	52
Şekil 4.11. Kızartma işleminde G-E düzeyi için sabit süre ve yağ oranında yanıt yüzey grafiği	53
Şekil 4.12. Kızartma işleminde G-E düzeyi için sabit sıcaklık ve tuz oranında yanıt yüzey grafiği.....	54
Şekil 4.13. Kızartma işleminde G-E düzeyi için sabit sıcaklık ve yağ oranında yanıt yüzey grafiği.....	55
Şekil 4.14. Kızartma işleminde G-E düzeyi için sabit sıcaklık ve sürede yanıt yüzey grafiği	55
Şekil 4.15. Kızartma işlemine ait modelin pertürbasyon grafiği	56
Şekil 4.16. Kızartma işlemine ait modelin pertürbasyon grafiği	57

RESİMLER DİZİNİ

Resim 3.1. Tez çalışmasında kullanılan patates ve ayçiçek yağına ait görseller	23
Resim 3.2. Tez çalışmasında kullanılan hızlı yağ tayin cihazı ve elde edilen yağlara ait görseller	25
Resim 3.3. Kızartılmış patateslerin nem tayinine ait görseller	35
Resim 3.4. Hızlı yağ tayini cihazına ait görsel.....	36
Resim 3.5. Sıcak havada ve derin yağda kızartılmış patateslerin renk ölçümlerine ait görseller	37
Resim 4.1. Sıcak havada ve derin yağda kızartılan patateslere ait görseller.....	64
Resim 4.2. Tadım esnasında sunulan patateslere ait görseller	65



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Kızartma yağlarında oluşan reaksiyonlar.....	6
Çizelge 2.2. Kızartma işlemiyle meydana gelen fiziksel değişiklikler	10
Çizelge 2.3. Kızartma işlemiyle meydana gelen kimyasal değişiklikler.....	10
Çizelge 3.1. Sıcak havada kızartma işlemine ait yanıt yüzey yöntemi için değişkenler ve kodlanmış seviyeleri	26
Çizelge 3.2. Sıcak havada kızartma sırasında kullanılan ayrıntılı deneme planı	26
Çizelge 4.1. Merkezi tümleşik tasarım deneme desenine göre elde edilen 3-MCPD-E miktarına ilişkin sonuçlar	40
Çizelge 4.2. Merkezi tümleşik tasarım deneme desenine göre elde edilen G-E'nin deneysel sonuçları.....	41
Çizelge 4.3. Kızartma yağında 3-MCPD-E'ye ilişkin yanıt yüzey metoduna ait istatistiki analiz sonuçları ve model katsayıları	43
Çizelge 4.4. Kızartma yağında G-E'ye ilişkin yanıt yüzey metoduna ait istatistiki analiz sonuçları ve model katsayıları.....	45
Çizelge 4.5. İşlem görmemiş, sıcak havada ve derin yağda kızartılmış ayçiçek yağlarının özellikleri.....	58
Çizelge 4.6. Sıcak havada kızartılan ve derin yağda kızartılan patateslere ait fizikokimyasal özellikler	60
Çizelge 4.7. Patates kızartmalarının duyu analize ait sonuçlar.....	64



ÖZET

SICAK HAVADA KIZARTMA İŞLEMİNİN PATATESLERDE 3-MONOKLOROPROPAN-1,2-DİOL ve GLİSİDİL ESTER OLUŞUMUNA ETKİSİ

Yavuz K. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Programı, Yüksek Lisans Tezi, Danışman: Prof. Dr. Aslı Yorulmaz, Aydın, 2025.

Amaç: Tez çalışmasının amacı sıcak havada kızartma işleminin koşullarını, kızartılmış ürünlerdeki 3-monokloropropan-1,2-diol ester (3-MCPD-E) ve glisidil ester (G-E) miktarı minimum olacak şekilde optimize etmek ve optimum koşullarda üretilen kızartılmış patatesleri, geleneksel derin yağda kızartılmış patatesler ile kıyaslamaktır.

Materyal ve Yöntem: Patateslerin kabuğu soyulmuş, yıkanmış ve 8x8x60 mm boyutlarında kesilmiştir. Patates dilimleri farklı konsantrasyonlardaki (%0-10) tuz çözeltilerinde 30 dk. bekletildikten sonra, peçete ile üzerlerindeki fazla su alınmıştır. Daha sonra patates dilimleri farklı oranlarda (10-50 g yağ/kg patates) ayçiçek yağı ile iyice karıştırılmıştır. Patates örnekleri sıcak hava fritözünde farklı sıcaklık (160-200°C) ve sürelerde (7,5-25 dk.) kızartma işlemine tabii tutulmuştur. Patates örneklerinin sıcak hava fritözünde kızartılması sırasında işlem sıcaklığı, süresi, yağ ve tuz oranının etkileri yanıt yüzey yöntemi (Response Surface Methodology, RSM) ile merkezi tümleşik dizayn (Central Composite Design, CCD) kullanılarak oluşturulan deneme planı ile incelenmiştir. Kızartılmış patates örneklerinin yağları hızlı yağ tayin cihazında ekstrakte edilmiştir. Patates örneklerinden ekstrakte edilen yağların 3-MCPD-E ve G-E içerikleri tespit edilmiştir. Optimum koşullarda sıcak havada ve geleneksel derin yağda kızartılan patates örnekleri 3-MCPD-E ve G-E içerikleri ile, nem ve yağ miktarı, renk ve duyu özellikleri açısından kıyaslanmıştır.

Bulgular: 3-MCPD-E ve G-E için minimum optimum işlem koşulları 181,76°C sıcaklık, 15,59 dk. süre, 44,06 (g/kg) yağ oranı ve 0,11 (%) tuz oranı olarak belirlenmiştir. Sıcak havada kızartılan patateslerde 0,35±0,05 mg/kg düzeyinde, derin yağda kızartılan patateslerde ise 0,39±0,04 mg/kg düzeyinde 3-MCPD-E içeriği tespit edilmiştir. Benzer

şekilde sıcak havada ve derin yağda kızartılan patateslerin G-E içerikleri ise sırasıyla $0,03 \pm 0,00$ mg/kg ve $0,11 \pm 0,01$ mg/kg değerlerini almıştır. Sıcak havada kızartma işleminde linoleik asit %68,52 olarak bulunurken; derin yağda kızartmada %68,64 düzeyinde bulunmuştur. Ayrıca sıcak havada kızartma yağında 29,74 ppm α - tokoferol bulunurken, derin yağda kızartma yağında 6,45 ppm α - tokoferol varlığı saptanmıştır. Sıcak havada kızartılan patateslerin nem içeriği %68,36, yağ içeriği %5,10, L değeri 56,81, a değeri 2,19 ve b değeri 25,61 olarak bulunmuştur. Derin yağda kızartılan patateslerin nem içeriği %64,51, yağ içeriği %7,72, L değeri 49,85, a değeri 12,24 ve b değeri 33,16 olarak bulunmuştur. Duyusal değerlendirme sonuçları derin yağda kızartma işleminin panelistler tarafından daha yüksek puanlar aldığını ortaya koymuştur.

Sonuç: Bu tez çalışması ile sıcak havada kızartma işleminin kızartılmış ürünlerdeki 3-MCPD-E ve G-E içeriğine etkisi ilk defa belirlenmiş ve bu kontaminantların minimum düzeyde oluşumu için optimizasyon çalışması ilk defa yapılmıştır. Ek olarak, sıcak havada kızartma ile derin yağda kızartma işlemleri 3-MCPD ve G-E içeriği bakımından ilk defa kıyaslanmıştır. Bu tez çalışması ile sıcak hava fritözünde kontrollü koşullarda 3-MCPD-E ve G-E'leri minimum düzeyde içeren güvenli patates kızartması üretimi gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: 3-MCPD-E, Derin yağda kızartma, Glisidil ester, Optimizasyon, Sıcak havada kızartma.

ABSTRACT

THE EFFECT OF AIR FRYING PROCESS ON 3-MONOCHLOROPROPANE-1,2-DIOL AND GLYCIDYL ESTER CONTENT OF POTATOES

Yavuz K. Aydın Adnan Menderes University, Institute of Science and Technology, Food Engineering Program, Master's Thesis, Supervisor: Prof. Dr. Ash Yorulmaz, Aydın, 2025.

Objective: The aim of the thesis is to optimize the conditions of the hot air frying process so that the amount of 3-monochloropropane-1,2-diol ester (3-MCPD-E) and glycidyl ester (G-E) in the fried product is minimum and to compare the fried potatoes produced under optimum conditions with conventional deep-fried potatoes.

Materials and Methods: Potatoes were peeled, washed and cut into 8x8x60 mm slices. The potato slices were soaked in salt solutions of different concentrations (0-10%) for 30 min and the excess water was removed with a napkin. The potato slices were then thoroughly mixed with sunflower oil at different ratios (10-50 g oil/kg potato). Potato samples were fried in a hot air fryer at different temperatures (160-200°C) and times (7.5-25 min). The effects of process temperature, time, oil and salt content during frying of potato samples in hot air fryer were investigated by using Response Surface Methodology (RSM) and Central Composite Design (CCD). The oils of the fried potato samples were extracted in a rapid oil analyzer. The 3-MCPD-E and G-E contents of the oils extracted from the potato samples were determined. Potato samples fried in hot air and conventional deep fat under optimum conditions were compared in terms of 3-MCPD-E and G-E contents, moisture and oil content, color and sensory properties.

Results: The minimum optimum process conditions for 3-MCPD-E and G-E were determined as 181.76°C temperature, 15.59 min time, 44.06 (g/kg) oil rate and 0.11 (%) salt rate. 3-MCPD-E content was detected at 0.35 ± 0.05 mg/kg in hot-fried potatoes and 0.39 ± 0.04 mg/kg in deep-fried potatoes. Similarly, the G-E contents of potatoes fried in hot air and deep oil were 0.03 ± 0.00 mg/kg and 0.11 ± 0.01 mg/kg, respectively. While linoleic acid is found to be 68.52% in the hot air frying process; it was found to be 68.64% in deep

fat frying. In addition, 29.74 ppm α -tocopherol was found in air frying oil, while 6.45 ppm α -tocopherol was found in deep fat frying oil. The moisture content of potatoes fried in hot air was found to be 68.36%, the fat content was 5.10%, the L value was 56.81, the a value was 2.19 and the b value was 25.61. The moisture content of deep-fried potatoes was found to be 64.51%, the fat content was 7.72%, the L value was 49.85, the a value was 12.24 and the b value was 33.16. Sensory evaluation results revealed that deep frying received higher scores from the panelists.

Conclusion: With this thesis study, the effect of hot air frying on the 3-MCPD-E and G-E content in the fried product was determined for the first time, and an optimization study was carried out for the first time to minimize the formation of these contaminants. Additionally, air frying and deep fat frying were compared for the first time in terms of 3-MCPD and G-E content. With this thesis study, safe french fries containing minimum levels of 3-MCPD-E and G-E was produced in an air fryer under controlled conditions.

Key Words: 3-MCPD-E, Deep fat frying, Glycidyl ester, Optimization, hot air frying.

1. GİRİŞ

Kızartma, ısı ve kütle transferini aynı anda içeren ve gıdalarda bir dizi fiziksel ve kimyasal değişikliğe neden olan dehidrasyon sürecidir (Yu vd., 2020).

Kızartma, kolay uygulanabilirliği ve gıdaya kazandırdığı olumlu duyuşsal özellikleri (doku, lezzet ve görünüm) nedeniyle evsel ve endüstriyel pişirmede yaygın olarak kullanılmaktadır (Santos vd., 2017). Geleneksel olarak gıdalar yağlara batırılarak pişirilir. Bu teknolojiye derin yağda kızartma denir. Gıda endüstrisinde çeşitli kızartma yöntemleri vardır. Bu kızartma yöntemleri arasında derin yağ kızartma, vakum kızartma ve sıcak havada kızartma işlemleri sayılabilir (Rahman vd., 2017).

Kızartma işlemi, restoranlarda, evlerde ve gıda endüstrisinde en yaygın kullanılan uygulamalardan biridir. Hazırlama hızı ve kolaylığı, nispeten düşük fiyatı, renk, doku ve tat gibi arzu edilen gıda özelliklerinin bir araya getirilmesi tüketici açısından kabul edilebilirliğine katkı sağlamaktadır. Bu özellikler, gıda ürünlerindeki kimyasal ve fiziksel modifikasyonlarla ilişkili oksidasyon, hidroliz ve polimerizasyon dahil kızartma sırasındaki fiziksel ve kimyasal değişikliklerin sonucudur (Zaghi vd., 2019).

Yüksek sıcaklıklarda kızartılmış gıdalar; nem kaybı, yağ emilimi, kabuk oluşumu, lipit oksidasyonu, nişasta jelatinizasyonu ve Maillard reaksiyonu gibi faktörler nedeniyle benzersiz tat, renk ve doku kazanarak tüketicilere hitap etmektedir (Cao vd., 2020). Kızartılmış gıdaların kendine has lezzetini ve beğenilmesini sağlayan faktörlerden biri ürünün yağ içeriğidir. Kızartılmış gıdaların yağ içeriği %35-44 arasında değişmektedir. Farklı kızartma uygulamalarında 160 ve 180°C arasındaki yüksek sıcaklıkta kızartılan gıdalarda su, ısının etkisiyle buharlaşmaktadır ve buharlaşan suyun yerini ortamdaki yağ almaktadır (Basuny vd., 2016; Odenigbo vd., 2012). Yağlar yüksek düzeyde tokluk sağlamakla birlikte, tüketiciler için çeşitli sağlık risklerine ve bazı hastalıklara sebep olabilmektedir (Fikry vd., 2021). Birçok araştırma, aşırı kızarmış ürün tüketiminin kalp-damar hastalıkları, hipertansiyon, diyabet, kanser ve obezite gibi ciddi sağlık risklerine yol açabileceğini göstermiştir (Andrés vd., 2013). Bu durumdan kaynaklı kızarmış gıdaların yağ içeriğinin, bileşiminin ve genel kalitesinin optimize edilmesinin gerekliliği vurgulanmıştır (Fikry vd., 2021). Bu nedenle araştırmacılar, kızarmış gıdaların ideal lezzetini ve dokusunu korumak için yeni az yağlı ürünlerin geliştirilmesine daha fazla önem vermişlerdir (Liu vd.,

2022). Ek olarak, kızartma işlemleri sırasında uygulanan yüksek sıcaklığın insan sağlığına zararlı etkisi olduğu saptanan 3-monokloropropan-1,2-diol ester (3-MCPD-E) ve glisidil esterleri (G-E) gibi kontaminantların oluşumuna neden olduğu belirlenmiştir (Aniołowska ve Kita, 2016; Ariseto vd., 2017).

Günümüzde insanlar, derin yağda kızartmanın negatif etkilerini bertaraf etmek için sıcak havada kızartma teknolojisi gibi alternatif kızartma teknikleri kullanılarak hazırlanabilecek az yağlı veya yağsız gıda üretimine yönelmişlerdir. Sıcak havada kızartma yöntemi, yağa daldırmak yerine ısıtılmış havanın ürünün etrafında dolaştırıldığı bir gıda hazırlama tekniğidir. Sıcak hava fritözü, bir ısıtıcı ile ısıtılabilen bir pişirme odasından ve fritöze gerekli hava akışını sağlamaya yardımcı olan bir fanın oluşmaktadır (Fikry vd., 2021). İşlem sırasında, yağdaki ısı akışını simüle eden ve içindeki gıda maddesini kurutup gevrek hale getiren sıcak hava akımından yararlanılmaktadır. Bu işlemdeki ısı transfer hızı oldukça yüksektir ve gıdaya eşit olarak dağıtılır, bu da yüksek kaliteli kızarmış ürünlerle sonuçlanır. Bu işlemin bir diğer avantajı, kullanılması gereken yağ miktarının geleneksel işleme kıyasla önemli ölçüde daha az (yaklaşık %50-70 daha az) olmasıdır, bu da düşük yağ içeriğine sahip gıdalarla sonuçlanmakta ve renk, doku, lezzet ve aromayı önemli ölçüde değiştirmektedir (Coria - Hernández vd., 2023). Sıcak havada kızartma, tüketiciler tarafından geniş çapta kabul gören yeni bir gıda işleme teknolojisidir (Dong vd., 2022). Sıcak hava fritözü, kabul edilebilir kaliteyi korurken ev yapımı gıdaların ve atıştırmalıkların yağ içeriğini azaltmak için yenilikçi bir pişirme yöntemi olarak kullanılmaktadır (Fang vd., 2022).

Bu tez çalışması kapsamında, yanıt yüzey yöntemi kullanarak sıcak havada kızartma işlemi sırasında kızartma sıcaklığı, süresi, NaCl ve yağ oranlarının kızartılmış patateslerin 3-MCPD-E ve G-E içeriklerine etkisi belirlenmiştir. Çalışma ile, yanıt yüzey yönteminin bu kontaminantların proses koşullarına bağlı olarak oluşum ve/veya değişimine etkisinin belirlenmesindeki kullanılabilirliği de değerlendirilmiş ve bu bileşiklerin en az düzeyde oluşumu için gerekli işlem koşulları belirlenmiştir. Bu sayede sıcak hava fritözleri ile kontrollü koşullarda 3-MCPD-E ve G-E'lerini minimum düzeyde içeren güvenli patates kızartması üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma ile sıcak havada kızartma işleminin kızartılmış ürünlerdeki 3-MCPD-E ve G-E içeriğine etkisi ilk defa belirlenmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Gıda Endüstrisinde Kızartma İşlemi ve Önemi

Kızartma, bilinen en eski ve en hızlı pişirme yöntemidir. Kızartma işlemi temelinde gıdaların bitkisel yağa daldırılmasından meydana gelen ve yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Yüksek sıcaklıkta kızartılmış gıdada su kısmen buharlaşarak gıdadan uzaklaşır ve buharlaşan suyun yerine yağ geçer ve belirli miktarda yağ gıda tarafından emilir. Kızartma işlemi, gıdalara kendine has tat ve doku kazandırarak gıdanın genel lezzetini olumlu yönde etkiler (Moyano ve Pedreschi, 2006).

Kızartma işlemi yüksek sıcaklıklarda gerçekleşmekte ve bununla birlikte gıdalarda görülen nem kaybı, yağ emilimi, kabuk oluşumu, lipit oksidasyonu, nişasta jelatinizasyonu ve Maillard reaksiyonu gibi faktörler nedeniyle benzersiz tat, renk ve doku kazanarak tüketicinin damak zevkini olumlu yönde etkilemektedir (Cao vd., 2020). Kızartma sırasındaki bu değişiklikler, kabuğun gözeneklilik, gözenek boyutu, şekli ve dağılımı gibi mikroyapısal özelliklerini belirlemektedir (Gouyo vd., 2021).

Kızartılan ürünlerin kalitesi yalnızca kızartma koşullarına değil, aynı zamanda işlem sırasında kullanılan yağ ve gıdanın türüne de bağlıdır (Chen ve Moreira, 1997). Kızartma yağının gıdaların kızartılmasında iki görevi vardır. Bunlardan ilki ısı transfer ortamı oluşturması; ikincisi ise gıdanın dokusuna katkıda bulunmasıdır (Debnath vd., 2012).

Kızartma sırasında; oksidasyon ve polimerizasyon gibi birçok kimyasal reaksiyon eş zamanlı olarak oluşmaktadır. Bu süreçte gıda maddeleri su kaybetmekte ve üründe yağ emilimi gerçekleşmektedir (Fang vd., 2021).

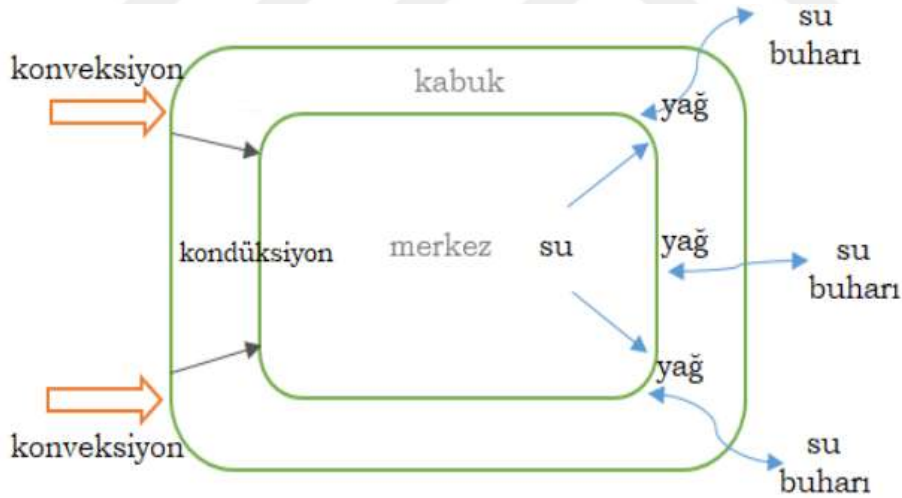
2.2. Derin Yağda Kızartma

Derin yağda kızartma, gıdayı kaynama noktasının üzerindeki bir sıcaklıkta yağa daldırarak pişirme işlemi olarak tanımlanabilir (Ziaifar vd., 2008). Derin yağda kızartmada, gıda ısıtılmış yağa (150-190°C) daldırılır, bu da kızartma yağı ile kızartılmış gıda arasında kütle alışverişine ve ısı transferine yol açar (Carvalho vd., 2022). Derin yağda kızartma eş

zamanlı ısı ve kütle transferlerinin hızlı şekilde gerçekleştiği bir yöntemdir. Derin yağda kızartma, kızartılan gıda içinde zıt yönlerde iki kütle transferi olması nedeniyle karmaşık bir işlem sürecidir (Ziaifar vd., 2008).

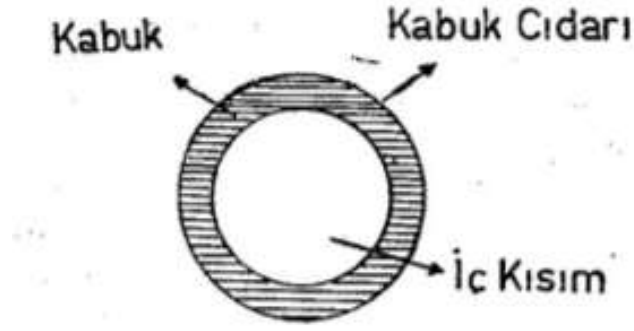
Isı ve kütle transferinin aynı anda gerçekleştiği derin yağda kızartma işleminde kızartma yağı aracılığıyla gıdanın yüzeyine yayılan ısı konveksiyon (taşınım) sayesinde gerçekleşir. Daha sonra gıdanın yüzeyindeki bu ısı kondüksiyon (iletim) yolu ile gıdanın içine doğru ilerlemektedir (Huang vd., 2022).

Kızartma esnasında gıdada meydana gelen ısı ve kütle transferinin şematik gösterimi Şekil 2.1’de verildiği gibidir. Kızartılan gıdanın sıcaklığı heterojendir. Yani gıdanın yüzeyi yağ sıcaklığına yakındır, gıdanın içi ise yaklaşık 100°C’dir ve yağın emilimi ile yavaşça artar. İşlem sonunda çekici bir tada, altın rengine ve arzu edilen bir dokuya (iç kısım suludur ve dış/kurutulmuş yüzey çıtır çıtır) sahip bir kızartılmış gıda hazırlanır. Derin yağda kızartma sırasında, kütle transferi ve lipid değişimleri, kızarmış gıda kalitesine (örneğin bileşim, doku ve lezzet) katkıda bulunan önemli fiziksel değişikliklerdir (Chang vd., 2020).



Şekil 2.1. Kızartma esnasında gıdada meydana gelen ısı ve kütle transferinin şematik gösterimi (Bal ve Küçüköner, 2023).

Derin yağda kızartma işlemi gıdada 3 katman oluşturmaktadır. Şekil 2.2’de kızartılmış gıdanın katmanları gösterilmektedir. Bu katmanlar şu şekilde sıralanabilir; ilki kızarmış kabuktur ve %3’ten daha az su içeren ve kızartılmış gıdanın gevrekliğini sağlayan katmandır. İkincisi ise kabuk cidarındır bu katmanda ise bazı renk değişimleri ve Maillard reaksiyonu gerçekleşmektedir. Son katman ise iç kısım olup nemlidir ve bir miktar yağ içermektedir (Demirel Demiray, 2023).



Şekil 2.2. Kızartma işlemi uygulanmış ürüne dair bir kesit (Demirel Demiray, 2023).

Yüksek sıcaklıklarda yapılan derin yağda kızartma işleminde kızartılan gıda yüksek yağ içeriğine sahip olacağından genellikle gıdaların beğenilen dokusal özellikleri ortaya çıkar. Bunlar kuru ve çıtır kabuk, yumuşak iç kısım, tipik kızartma aroması ve kabuktaki Maillard reaksiyonları sayesinde gerçekleşir. Derin yağda kızartma, gıdaların hızlı bir şekilde hazırlamanın popüler bir yoludur (Mellema, 2003).

Derin yağda kızartma dört aşamaya ayrılır, bunlardan ilki, numunenin yağa daldırılmasıyla başlayan ve yüzey sıcaklığının kızartma sıcaklığına ulaşmasına kadar süren ilk ısıtmadır. Bu aşamada, ısı transferi esas olarak serbest konveksiyonla gerçekleşir. İkinci aşamada su buharı kabarcıkları ortaya çıkar. Üçüncü aşamada, gıdanın içindeki sıcaklık kaynama noktasına kadar artar, kabuk oluşur, kalınlaşır, nem kaybı ve kabarcıklanma oranı azalır. Ayrıca, nişasta jelatinleşmesi ve protein denatürasyonu gibi çeşitli kimyasal değişimler gerçekleşir (Safari vd., 2018). Kızartma sırasında meydana gelen kimyasal değişimlere ek olarak, yağın fiziksel (viskozite ve yoğunluk gibi) ve termal (konvektif ısı transfer katsayısı) özelliklerindeki değişimler de gıda kalitesini etkileyebilir (Debnath vd., 2012; Uslu, 2014).

2.3. Kızartma Sırasında Yağda Meydana Gelen Kimyasal Reaksiyonlar

Kızartma işlemi ile gıdada bir dizi kimyasal reaksiyon gerçekleşmektedir. Bunlar Çizelge 2.1’de de görüldüğü üzere hidroliz, oksidasyon ve polimerizasyon olarak sıralanabilir (Choe ve Min, 2007).

Çizelge 2.1. Kızartma yağlarında oluşan reaksiyonlar (Uslu, 2014).

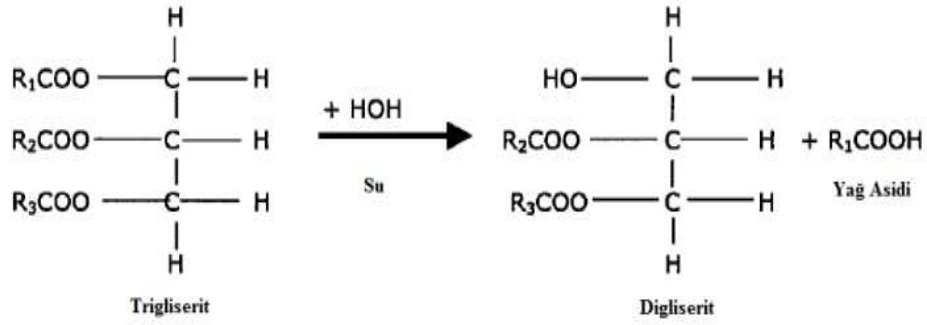
Reaksiyon	Neden Olan Etken	Reaksiyon Ürünleri
Hidroliz	Gıdanın İçerdiği Su	Yağ asitleri, digliseritler, monogliseritler, gliserol
Oksidasyon	Hava	Oksitlenmiş monomerik, dimerik ve oligomerik trigliseritler, uçucu maddeler (aldehitler, ketonlar, alkoller, vb.)
Isıl Bozunma ve Polimerizasyon	Sıcaklık	Halkalı yapıda monomerik, dimerik, polimerik trigliseritler, akrilamid, furan, dioksin, vb.

2.3.1. Yağın Hidrolizi

Yağların hidrolizi en basit haliyle bir yağ molekülünün yapı taşları olan yağ asitleri ve gliserole parçalanmasıdır. Bu işlem bir trigliserit molekülüne su katılarak, kimyasal veya enzim katalizörü yardımı aracılığıyla gerçekleştirilmektedir (Kutluk, 2021).

Su, buhar ve oksijen kızartma işleminde gıdadaki kimyasal reaksiyonları başlatır. Triaçilgliseroller yıkılarak diaçilgliseroller, monoaçilgliseroller, gliserol ve serbest yağ asitlerine parçalanmaktadır. Bu parçalanmanın sebebi ise zayıf bir nükleofil olan suyun triaçilgliserollerin ester bağıını koparması ile gerçekleşmektedir. Serbest yağ asidi değeri kızartma yağının kalitesini belirlemek için kullanılır (Choe ve Min, 2007; Chung vd., 2004). Yağ asitleri vb. ürünler gıdanın lezzet profili üzerinde oldukça etkilidirler ve gıdanın lezzetini değiştirebilmektedirler (Avcı, 2015).

Kısa zincirli doymamış yağ asidi içeren moleküller; uzun zincirli doymuş yağ asidi içeren moleküllere göre daha hızlı hidrolize olmaktadır. Bunun sebebi ise gıdada bulunan suyun kısa zincirli daha kolay parçalanmasıdır ve doymamış yağ asitlerinin suda daha iyi çözünmesidir (Uslu, 2014). Şekil 2.3’de de görüldüğü üzere hidrolitik reaksiyonla trigliseritler su varlığında di ve monogliseritlere parçalanmaktadırlar. Bununla birlikte gıdalarda bulunan suyun fazla olması yağı daha hızlı hidrolize eder. Buhar suya göre daha yavaş hidroliz işlemi gerçekleştirmektedir. Yağ ile gıdanın sulu fazı arasındaki temas alanı arttıkça yağın hidroliz hızı da artmaktadır (Choe ve Min, 2007).

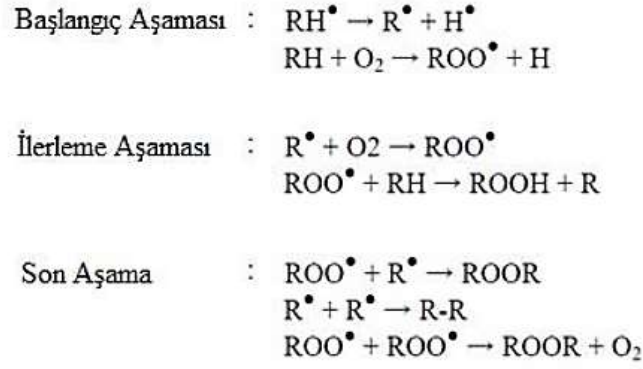


Şekil 2.3. Hidrolitik reaksiyon (Gupta, 2004; Uslu, 2014)

2.3.2. Yağın Oksidasyonu

Yağlarda meydana gelen oksidasyon, gıdalardaki yağda çözünmüş oksijen ile çevreden yağa geçen oksijenin etkilediği ve bunun sonucunda serbest radikal, hidroperoksit ve konjuge dienoik asit oluşumlarının meydana geldiği kimyasal bir reaksiyon olarak tanımlanmaktadır. Bu reaksiyonla birlikte gıdalarda bazı istenmeyen uçucu veya uçucu olmayan bozulma ürünlerinin meydana geldiği görülmektedir. Kızartma yağında normal şartlarda görülen oksidasyon mekanizması ile yüksek sıcaklıklarda (250°C) görülen otooksidasyon mekanizmasının aynı olduğu bilinmektedir. Hidroperoksitler gibi stabil olmayan primer oksidasyon ürünleri 190°C gibi yüksek sıcaklıklarda daha hızlı bir şekilde aldehit ve ketonlar gibi ikincil oksidasyon ürünlerine parçalanmaktadırlar. Bu oluşan uçucu ikincil oksidasyon ürünleri kızartılan gıdadaki yağın kokusunu ve kızartılmış gıdanın tadını direkt olarak etkilemektedir (Ataç, 2005).

Şekil 2.4’de gösterilen oksidasyon mekanizmasının başlangıcında serbest radikallerin oluşumu; yağ asidi zincirinden hidrojenin ayrılmasıyla gerçekleşir. Oluşan serbest radikallerin oksijenle tepkimesi sonucunda peroksi radikal oluşumu görülmektedir. Meydana gelen bu peroksi radikaller ilerleme aşamasında doymamış yağ asitleriyle tepkimeye girerek hidroperoksit ve serbest radikallerin oluşumunda rol oynamaktadır. Tepkime; ortamda bulunan oksijen ve doymamış yağ asitleri tükendiği anda son aşamaya geçmektedir. Son aşamada ise dimerik ve polimerik bileşiklerin oluşumu; serbest radikallerin birbirleri arasındaki tepkimeleri sonucu meydana gelmektedir (Sumnu ve Sahin, 2008).



Şekil 2.4. Oksidasyon mekanizması (Gupta, 2004; Uslu, 2014)

Yağların bozulmasındaki temel unsurlardan birisi oksidasyondur. Tüketilen yağlarda meydana gelen bu oksidasyon sonucunda gıdanın besin kalitesinin azalmasının yanı sıra raf ömrü de kısalmaktadır. Bu reaksiyon sonucunda gıdada istenmeyen tat ve kokuyla birlikte bazı toksik bileşikler de üretilmektedir. Yağların bozulma derecesi ve kalitesinin belirlenmesinde kromatografik ve kimyasal yöntemlerden yararlanılmaktadır. Bu yöntemler; peroksit sayısı, konjuge çift bağ sayısı, aktif oksijen yöntemi, ransimat testi, tepe boşluğu tayini gibi yöntemlerdir (Duman vd., 2015).

Termal oksidasyon; kızartma işleminin yüksek sıcaklıklara (180°C) çıkmasıyla birlikte gerçekleşmektedir. Yüksek sıcaklıklarda hidroperoksitler hızlı bir şekilde hidroksi ve alkoksi radikallere parçalanmaktadır. Bu parçalanma ise termal oksidasyon esnasında görülmektedir. Hidroksi ve alkoksi gibi parçalanma sonucu oluşan yeni ürünler çok aktif maddelerdir. Bu sayede bu ürünler tekrar tekrar parçalanarak yeni aktif ürünlerin oluşmasını da sağlamaktadırlar. Yüksek sıcaklarda meydana gelen termal oksidasyon sonucunda oluşan ürünlerin, otooksidasyon sonucu oluşan ürünler ile kıyaslandığında oldukça fazla olduğu bilinmektedir. Yağların viskozitesinin yükselmesi, kıvamının artması ve iyot sayısındaki düşüş yüksek sıcaklıkla ilişkilendirildiği gibi termal oksidasyon sonucu olduğu da bilinmektedir. Kızartmalık yağların termal oksidasyona karşı daha dayanıklı olması tüketim sağlığı açısından önem taşımaktadır (Deniz Şirinyıldız, 2019).

2.3.3. Yağın Polimerizasyonu

Kızartma işlemi gerçekleşirken yüksek molekül ağırlıklı ve polariteli bileşikler oluşur ve bu oluşum sürecinde birçok reaksiyon meydana gelir. Bu oluşum süreci polimerizasyon olarak tanımlanmaktadır. Polimerler; serbest radikaller ve triaçilgliserollerden meydana gelmektedir. Bir yağ asidinden siklik yağ asitleri meydana gelirken, iki yağ asidi arasında ise dimerik yağ asitleri görülmektedir. Polimerler ise birden fazla yağ asidinin çapraz bağlanması sonucu oluşmaktadır ve çok daha fazla molekül ağırlığına sahiptirler (Avcı, 2015).

Kızartma işleminde kullanılan yağın tipi, sıcaklığı ve sayısı dimerlerin ve polimerlerin oluşumunda etkilidir. Kızartma işleminin tekrarı ve sıcaklığı arttıkça polimerlerin oluşumu hızlanmakta ve miktarları çoğalmaktadır. Linoleik asit bakımından zengin yağ, oleik asit bakımından zengin yağa göre kızartma işlemi sırasında daha kolay polimerize olur (Choe ve Min, 2007).

Termal polimerler ve oksidatif polimerler olmak üzere iki çeşit polimer bulunmaktadır. Bu polimerlerin kızartma yağında oluştuğu görülmektedir. Ortamda oksijenin varlığı veya yokluğu fark etmeksizin ısının etkisiyle oluşan polimerler, termal polimerlerdir. Meydana gelen ısının etkisiyle yağ molekülleri veya yağ asitleri parçalanmaktadır. Parçalanma sonucu oluşan ürünler birbirleri arasında reaksiyona girerek daha büyük moleküllu bileşikler yani termal polimerleri oluşturmaktadırlar. Kızartma işlemi yüksek sıcaklıklarda gerçekleştiği için termal polimerlerin oluşumuna daha çok rastlanmaktadır. Yağın okside olması ile oluşan serbest radikallerin birbiriyle reaksiyona girmesi sonucu oksidatif polimerler meydana gelmektedir (Uslu, 2014).

Polimerizasyon reaksiyonunun sonucu olarak kızartma yağının viskozitesi ve yoğunluğu artış göstermektedir (Debnath vd., 2012). Kızartma yağının zamanla daha viskoz olmasına, ısı transfer hızının zamanla yavaşlamasına, yağın köpüklenmesine, kızartılan gıdada istenmeyen renk oluşumuna ve kızartılan gıda tarafından çok fazla yağ emilimine, kızartma yağında oluşan yüksek moleküllu polimerler neden olmaktadır. Bazı durumlarda bu polimerler kızartma yapılan tavanın metal kısmı ve ortamdaki oksijenin temas ettiği noktada kahverengimsi reçine şeklinde görülebilmektedir (Choe ve Min, 2007; Uslu, 2014).

2.4. Kızartma Sırasında Yağlarda Meydana Gelen Fiziksel ve Kimyasal Değişimler

Kızartma yağlarının fiziksel ve kimyasal değişimlerini incelemek için, literatürde birçok yöntem önerilmiştir. Çizelge 2.2’de de görüldüğü üzere kızartma işlemiyle meydana gelen fiziksel değişiklikler; yoğunluk, viskozite, dumanlanma noktası, fotometrik renk indeksi, refraktif indeks, ultraviyole (UV) Emilimi, kızıl ötesi spektroskopisi ve dielektrik sabitinde meydana gelen değişimler olarak sıralanabilir (Gertz, 2000).

Çizelge 2.2. Kızartma işlemiyle meydana gelen fiziksel değişiklikler (Uslu, 2014)

Fiziksel Özellikler	Kızartma Süresince Değişimi	Nedeni
Refraktif indeks	Artar	Konjuge yağ asitlerinin birikmesi
Yoğunluk	Artar	Polimerize trigliseritler
Dielektrik katsayısı	Azalı	Okside polar bileşenler
Renk	Daha koyu	Maillard reaksiyonu
İletkenlik	Artar	Polar bileşikler
Yüzey gerilimi	Azalı	Polar bileşikler
Dumanlanma noktası	Azalı	Uçucu okside bozulma ürünleri
Özgül ısı	Artar	Polar bileşikler
Viskozite	Artar	Polimerize trigliseritler

Kimyasal testler ise Çizelge 2.3’de de görüldüğü üzere serbest yağ asitliği sayısı, peroksit sayısı, iyot sayısı, *p*-anisidin değeri, sabunlaşma sayısı, oksitlenmemiş monomer yağ asitleri, polimerize trigliseritler, petrol eterinde çözünmeyen yağ asitleri, toplam polar bileşiklerin ve yağ asidi bileşiminin belirlenmesi olarak sıralanabilir (Gertz, 2000).

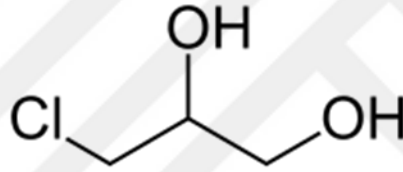
Çizelge 2.3. Kızartma işlemiyle meydana gelen kimyasal değişiklikler (Uslu, 2014)

Kimyasal Özellikler	Kızartma Süresince Değişimi	Nedeni
<i>p</i> -anisidin değeri	Artar	İkinci oksidasyon ürünleri
İyot sayısı	Azalı	Okside yağ ürünlerinin oluşması
Peroksit sayısı	Artar/Azalı	Birincil oksidasyon ürünleri
Petrol eterinde çözünmeyen okside yağ asitleri	Artar	Okside polimerizasyon ürünleri
Polar bileşikler	Artar	Okside ve polimerize bozulma ürünleri
Polimerize trigliseritler	Artar	Okside ve okside olmayan polimerize trigliseritler
Asitlik değeri	Artar	Serbest karbonil grupları ile oksidasyon ürünlerinin oluşması

Kızartılan gıdaların aroması ve yağ stabilitesini etkileyen en önemli faktör yağ asidi bileşimi olarak belirtilmiştir. Genel anlamıyla kızartma yağının uzun bir ömre sahip olmasının yanı sıra duyuşal özellikleri açısından da iyi olması gerekmektedir (Kiatsrichart vd., 2003).

2.5. 3-MCPD ve Glisidil Esterleri

Genotoksik olmayan bir karsinojen olarak kabul edilen 3-MCPD (3-monokloropropan-1,2-diol) ilk olarak 1978 yılında Velíšek vd. tarafından tanımlanmış ve 1980 yılında asitle hidrolize edilmiş bitkisel proteinlerde (HVP) bulunmuştur. 3-MCPD'nin kimyasal yapısı şekil 2.5'de gösterilmiştir (Rahn ve Yaylayan, 2011).



Şekil 2.5. 3-MCPD'nin kimyasal yapısı

Sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda 3-MCPD'nin varlığı çeşitli ısıyla işlenmiş gıdalarda, örneğin ekmek kabuğu, kızarmış ekmek ve bisküvi gibi tahıl türevi ürünlerde, malt türevi ürünlerde, kahvede, ızgara peynirde ve son olarak tütülenmiş ürünlerde tespit edilmiştir (Weißhaar, 2011).

Yapılan çalışmalarda kloropropanol ester miktarlarının (özellikle 3-MCPD) gıdalarda serbest halde bulunan kloropropanol miktarlarından 5-396 kat daha fazla olduğu bulunmuştur. Bunun akabinde kloropropanol ester miktarlarının varlığına dair çalışmalar hızlanmıştır (Divinová vd., 2007; Doležal vd., 2005; Karsulinova vd., 2007; Rahn ve Yaylayan, 2011; Svejkovska vd., 2004; Zelinková vd., 2006; Zelinková vd., 2009). 3-MCPD'nin yağ asitlerinin mono-esterleri ve di-esterleri şeklinde bağlı formda da olduğu bu çalışmalar doğrultusunda tespit edilmiştir (Karl vd., 2016). Isı, asit ve lipazlar aracılığıyla kloropropanol esterleri hidrolize olarak serbest haldeki kloropropanollere parçalanabilmektedir (Rahn ve Yaylayan, 2011). Bazı gıdalarda bu durum kloropropanollerin tamamının serbest forma dönmesiyle daha fazla 3-MCPD

oluşturabilmektedir. Bu 3-MCPD oluşma ihtimali ise Avrupa Komisyonu tarafından tespit edilen üst limitten (20 µg/kg) fazla olma riskini taşımaktadır (Rahn ve Yaylayan, 2011; Svejkovska vd., 2004). Bu kontaminantların proses aşamasında oluşmasının dışında, diyetle tüketilen memeli sütünde ve süt ürünlerinde de oluşumu gözlenmektedir (Rahn ve Yaylayan, 2011).

Glisidil esterler (G-E), epoksi halka yapısı nedeniyle yüksek sağlık riskine yol açmaktadır. Glisidolün yapısının genotoksik ve karsinojen özellikler gösterdiği bilinmektedir. Bu nedenle glisidol, Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı'nın (IARC) 2000 yılında yaptığı bir değerlendirmede insanlar için karsinojen (Grup 2A) olarak sınıflandırılmıştır.

Son yıllarda serbest veya bağlı 3-MCPD veya G-E'lerin belirlenmesi için çeşitli analitik prosedürler yayınlanmıştır. Yağlardaki 3-MCPD-E'leri ve G-E'lerinin belirlenmesine yönelik yöntemlerin çoğu, metanollü sodyum hidroksit veya sodyum metoksit ile alkali katalizli transesterifikasyona, ardından 2- ve 3-MCPD'nin fenilboronik asit ile türevlendirilmesine ve GC-MS ile belirlenmesine dayanmaktadır (Karl vd., 2016).

Zelinkova vd. (2006) tarafından yapılan bir çalışmada, badem yağı, fıstık yağı, soya yağı, ayçiçek yağı ve susam yağında 3-MCPD'nin varlığına rastlanmıştır. Bu yağların analizi sonucunda 0 mg/kg ile 2,46 mg/kg arasında değişen 3-MCPD-E miktarları bulunmuştur. Bu yağlar arasında analize tabi tutulnlardan işlem görmüş pirina yağının 3-MCPD-E değeri en yüksek düzeyde bulunmuştur.

Razak vd. (2012) yapmış oldukları bir çalışmada, bazı kızartma yağlarında (pirina yağı, mısır yağı, kanola yağı, ayçiçek yağı, soya yağı, pirinç kepeği yağı, palm yağı ve sızma zeytinyağı) oluşan 3-MCPD-E düzeylerini incelemişlerdir. Kızartılan yağlar 3-MCPD-E açısından karşılaştırılmış ve 3-MCPD-E düzeyi düşük çıkan yağlar 0,25 ile 0,35 mg/kg arasında değişim göstermişlerdir. Bu yağlar; soya yağı, mısır yağı, pirinç kepeği yağı ile sızma zeytinyağı olarak sıralanmıştır. Bu yağlara kıyasla 3-MCPD-E düzeyleri yüksek çıkan yağların içerikleri 1,65-2,20 mg/kg arasında değişmiştir. Bu yağlar; pirina yağı ve palm yağı olarak rapor edilmiştir.

Wong vd. (2017a) yapmış oldukları bir çalışmada; derin yağda palm yağı ile kızartılan tavuk göğsünde bazı parametrelerin (sıcaklık, süre ve NaCl oranı) 3-MCPD-E ve G-E'lerin oluşumu üzerine etkilerini incelemişlerdir. Bu parametrelerden sıcaklık 160-180°C olarak belirlenirken; NaCl oranı %0, %1, %3 ve %5 olarak seçilmiştir. Kızartma

işleminde 5 gün boyunca depolanan yağ örneklerine 3-MCPD-E ve G-E düzeylerinin belirlenmesi için analizler uygulanmıştır. Yapılan analizler neticesinde kızartma işleminin süresinin uzamasıyla birlikte 3-MCPD ve G-E'lerin düzeyinde azalma olduğu tespit edilmiştir. NaCl oranının artmasıyla birlikte (%0'dan %5'e) 3-MCPD-E miktarı da artmıştır. Kızartma işleminin uygulanmasında kızartma yağına NaCl eklenmesinin G-E oluşumuna pek etkisi bulunmamaktadır.

Wong vd. (2017b) yapmış oldukları bir çalışmada; palm yağı ile kızartma işlemi sırasında oluşan 3-MCPD-E ve G-E'lere sıcaklığın, sürenin ve NaCl oranının etkileri incelenmiştir. Kızartma işlemi için belirli sıcaklık (160°C-180°C) ve tuz oranları (%0, %1, %3 ve %5) belirlenmiştir. Bu kontaminantların analizi için AOCS Cd 29a-13 metodu uygulanmıştır. Tüm bu analizler doğrultusunda kızartma işleminin süresi arttıkça 3-MCPD-E miktarı azalırken; sıcaklık ve NaCl oranı arttıkça 3-MCPD-E'nin artış gösterdiği tespit edilmiştir. G-E'lerin miktarı ise sıcaklık, süre ve NaCl oranının artmasıyla birlikte artış göstermiştir.

Aniołowska ve Kita (2015) yapmış oldukları bir çalışmada, patateslerin kızartılması esnasında kızartma yağının bozulmasıyla birlikte G-E'lerde meydana gelen değişimi incelemişlerdir. Patateslerin kızartılmasında işlenmiş kolza, palm yağı ve bu yağın karışımları kullanılmıştır. Patateslerin kızartılması farklı koşullarda gerçekleştirilmiştir. Bunlar; 180±5°C'de 4 dk. süresince, 30'ar dk. beklenerek 8 saat/gün boyunca yapılmıştır. Bozunma reaksiyonlarından hidroliz ve polimerizasyon palm yağında fazlaca oluşurken, oksidasyon ise en çok kolza yağında meydana gelmiştir. G-E'ler; rafine edilmemiş palm yağında 25 mg/kg düzeyinde bulunurken; bu oran kolza yağında 0,8 mg/kg olarak belirlenmiştir. Kızartma işlemine uygulanan sürenin uzatılmasıyla birlikte kolza yağında G-E'ler %47 oranında azalmıştır.

Belkova vd. (2018) yapmış oldukları bir çalışmada, yağlarda oluşan 3-MCPD-E miktarına derin yağda kızartma ve vakum kızartma işlemlerinin etkisini incelemişlerdir. Patates örnekleri kolza yağı ile kızartılmıştır. Kızartma işlemi farklı sürelerde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara bakıldığında süre geçtikçe 3-MCPD-E düzeylerinde azalma olduğu belirlenmiştir. Kızartma işleminin başında 0,445 mg/kg olan yağdaki 3-MCPD-E miktarı; vakumla kızartma işlemiyle birlikte 0,295 mg/kg'a, derin yağda kızartma işlemiyle birlikte 0,195 mg/kg'a kadar düşüş göstermiştir. 3-MCPD-E'nin oluşumunda değişen sürelerin pek anlamlı olmadığı vurgulanmıştır.

Ilko vd. (2011) yapmış oldukları çalışmada, kolza yağının ve palm yağının karışımları kullanılarak farklı patates ürünlerine kızartma işlemi uygulanmıştır. Bu çalışmada patates ürünleri ve bunların kızartılmasında kullanılan yağlardaki serbest 3-MCPD ve 3-MCPD-E içeriklerine bakılmıştır. Patateslerde kızartma işlemi öncesi 3-MCPD-E düzeyi 750 µg/kg olarak belirlenmiştir. Bu kızartılmış patateslerden elde edilen yağlar 5 gün bekletilmiş ve her gün 3-MCPD-E değerleri belirlenmiştir. Kızartma yağlarında 1.gün sonunda 1420 µg/kg, 2. günde 2030 µg/kg, 3. günde 2050 µg/kg, 4. günde 1550 µg/kg ve 5. günde 1790 µg/kg olarak bulunmuştur.

Hammouda vd. (2017) yapmış oldukları bir çalışmada, işlenmiş palm yağı ve pirina yağı ile bu yağ karışımlarının tekrarlı kızartma işlemleri sırasındaki değişiklikleri incelenmiştir. Bu işlenmiş yağların (pirina yağı/palm yağı) karışımı 100:0, 75:25, 50:50 ve 25:75 olarak belirlenmiştir. Patatesler hazırlanan yağ karışımlarında 175±2°C'de 16 saat süresince kızartılmıştır. Kızartma işlemi sonucunda meydana gelen kontaminantların belirlenmesi için DGF C VI 18 (10) metodu uygulanmıştır. Kızartma işlemine tabi tutulmamış palm yağında 3-MCPD düzeyi 1,30 mg/kg iken; G-E miktarı 4 mg/kg olarak bulunmuştur. Pirina yağında ise 3-MCPD düzeyi 1,10 mg/kg iken G-E miktarı 1,50 mg/kg olarak bulunmuştur. Hazırlanan yağ karışımları 3-MCPD ve G-E'ler açısından incelendiğinde 75:25 yağ karışımında oluşan 3-MCPD-E düzeyi 0,9 mg/kg iken, G-E düzeyi 0,2 mg/kg olarak belirlenmiştir. 50:50 yağ karışımında oluşan 3-MCPD-E düzeyi 0,5 mg/kg iken, G-E düzeyi 0,4 mg/kg olarak belirlenmiş ve 25:75 yağ karışımında oluşan 3-MCPD-E düzeyi 0,7 mg/kg iken G-E düzeyi 0,4 mg/kg olarak belirlenmiştir. Tüm bu analiz verileri doğrultusunda kızartma işlemiyle birlikte 3-MCPD-E ve G-E'lerin azalma eğilimi gösterdiği rapor edilmiştir. Yine aynı şekilde hazırlanan yağ karışımları incelendiğinde 25:75 oranında hazırlanan işlenmiş pirina yağı/işlenmiş palm yağının diğer yağ karışımlarıyla karşılaştırıldığında en kararlı yapıda olduğu tespit edilmiştir.

2.6. Sıcak Havada Kızartma İşlemi

Sıcak havada kızartma işlemi hammaddelerin yüzeyi ile sıcak hava akımında yağ damlacıkları içeren bir buhar arasında doğrudan temas yoluyla kızarmış gıdalar elde etmek için kullanılan yeni bir tekniktir. Sıcak havada kızartma işlemiyle kızartılmış gıdalar daha az yağ ve daha iyi kalite ile geleneksel kızarmış ürünlerin benzer özelliklerine sahip olmuştur

(Lu vd., 2021).

Sıcak havada kızartma işleminde ısı transfer ortamı olarak yağ yerine sıcak hava kullanılmaktadır. Geleneksel derin kızartmayla karşılaştırıldığında, sıcak havada kızartma çok daha az miktarda yağ gerektirir ve böylece kızartılmış gıdaların yağ içeriği azalmaktadır (Cao vd., 2020).

Sıcak hava fritözü, aslında geleneksel fırının dolaşımdaki hava akışı sorununu iyileştirmek için fırın gibi tasarlanmış bir ocaktır. Isıtma odasının şekli değiştirilerek, gıda maddeleri sıcak hava fritözündeki geleneksel fırına göre daha yüksek hava hızıyla temas etmeye zorlanır. Konvansiyonel fırında, gıdalar yalnızca içinde fan veya başka bir cebri hava akımı aparatı bulunmayan ısı kaynağı (ısı boruları) tarafından pişirilir. Bugüne kadar sıcak havada kızartmayı fırında pişirme ile karşılaştıran sadece birkaç çalışma rapor edilmiştir. Karşılaştırmalar yalnızca ekmek ve nemli kekler gibi nişasta bazlı modeller kullanılarak geleneksel bir fırında hava akışının ürün hacmi üzerindeki etkisini çözmekle sınırlandırılmaktadır. Bu nedenle, sıcak havada kızartılmış gıdaların ürün kalitesinin kapsamlı bir değerlendirmesine ve fırında pişmiş gıdalarla karşılaştırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır (Ngan vd., 2023).

Sıcak havada kızartma, derin yağda kızartmaya daha sağlıklı bir alternatif olarak tanıtılmaktadır. Bununla birlikte, önceki araştırmalar esas olarak sıcak havada kızartma ve derin yağda kızartma arasındaki dokusal ve duyusal karşılaştırmalara odaklanmıştır. Gıdanın kimyasal bileşimindeki değişikliklerden ziyade bu tür değişiklikleri araştıran birkaç çalışmada esas olarak dahil edilen yağın azaltılması ve sağlığa zararlı bileşiklerin ve maddelerin oluşumu araştırılmaktadır (Schmiedeskamp vd., 2022).

Sıcak havada kızartılan ürünler, daha az yağ ve potansiyel olarak daha az zararlı maddeler içerdikleri için daha sağlıklı olma eğilimindedir. Lipid oksidasyonu ve Maillard reaksiyonu gibi kızartılmış gıdalardan ekstrakte edilen ve yağlarda potansiyel olarak bulunan toksik maddelerin seviyeleri, sıcak havada kızartma işleminde geleneksel derin yağda kızartma işlemine göre daha düşüktür. Sıcak havada kızartılmış ürünlerin ana dezavantajlarından biri, geleneksel derin yağda kızartma ile üretilen gıdalarla karşılaştırıldığında, daha kuru bir ağız hissi ve lezzet profillerinde bir değişiklik gibi duyusal özelliklerinde bir azalmadır (Wang vd., 2021).

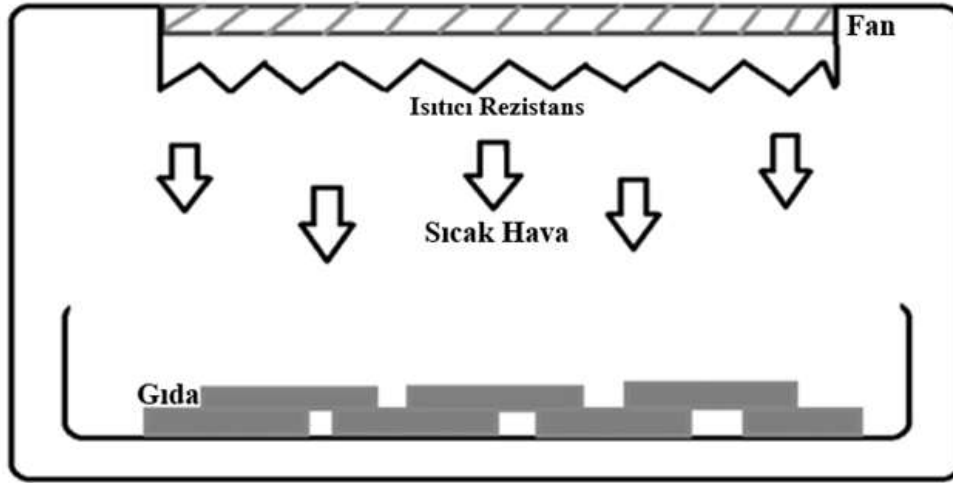
Sıcak havada kızartılan ürünlerin geleneksel kızartılmış ürüne benzemesinin yanı sıra yağ içeriğinin de azaltılmasıyla birlikte daha sağlıklı bir kızartma yöntemi olarak

kullanılabileceğini belirtilmiştir (Liu vd., 2022). Sıcak havada kızartılmış ürünlerdeki vitamin içeriği korunmakta ve kimyasal bozunma reaksiyonları inhibe edildiğinden yağ kalitesi iyileşmektedir (Wang vd., 2021).

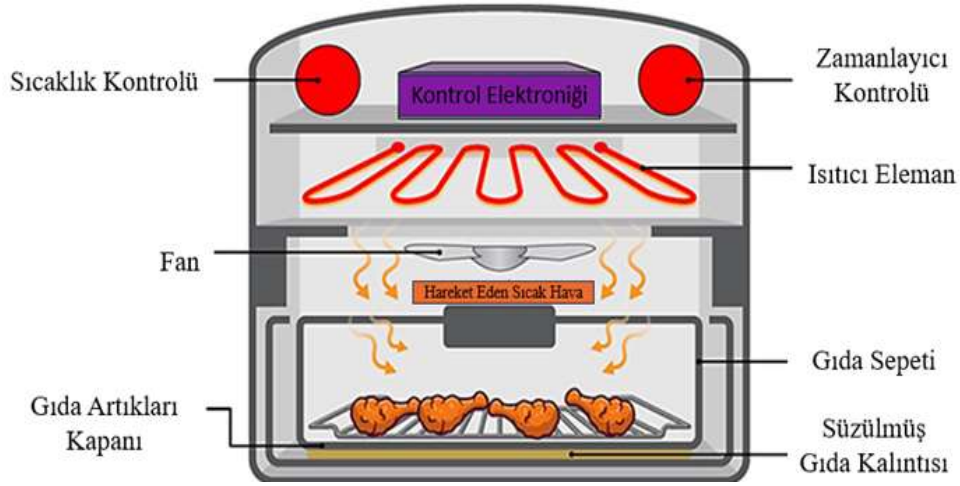
Sıcak havada kızartma ile üretilen kızarmış gıdaların dokusal özelliklerinde, yağ alım hızı ve derecesindeki farklılıkların yanı sıra ısı ve su taşıma işlemlerinin kinetiğinde de farklılıklar bulunmaktadır. Kızartma sıcaklığı, kızartma süresi ve gıda kabuğunun mikro yapısı da önemli bir rol oynamaktadır. Sıcak havada kızartılmış numuneler şişirilmiş ve kuru görünürken, derin yağda kızartılmış olanlar yağlı bir ağız hissi ve yağlı bir doku vermiştir. Sıcak havada kızartılmış patateslerde bildirilen “etlilik” hissi, hücrelerindeki jelatinleştirilmiş nişasta hacmindeki artışla ilişkilendirilmektedir. Sıcak havada kızartılmış numuneler ayrıca soğutma sırasında daha fazla kabuk büzülmesi göstermektedir (Wang vd., 2021).

2.6.1. Sıcak Havada Kızartma Fritözünün Çalışma Prensibi

Sıcak hava fritözü, havada asılı duran yağ damlacıklarının dağılımını kullanarak bir gıdayı ısıtır. Bu işlem, derin yağda kızartma işleminde kızartma yağı ile gerçekleşirken sıcak havada kızartma işleminde hava fritözü odası içinde sıcak hava akımında gerçekleşmektedir. Sıcak havada kızartma, derin yağda kızartma ile benzer özellikleri verebilir, ancak gıda tarafından yağ emilimi genellikle daha düşüktür. Araştırmacılar, bu yöntem kullanılarak yağ emiliminin %90’a kadar azaltılabileceğini göstermektedir. Şekil 2.6’da yer alan şemada gösterildiği gibi sıcak havada kızartma sırasında, yağ damlacıkları fritöz tarafından sıcak hava akımına dağıtılmakta, böylece gıdaların yüzeyleri eşit şekilde ısıtılmaktadır. Bu nedenle yağ damlacıklarını içeren buhar, fritöz odasının içindeki gıdayla doğrudan temas etmektedir. Sistem, gıda maddesinin aşırı ısıtılmış yağlı bir buhar ile temas halinde kalması için sürekli hareket edecek şekilde tasarlanmıştır. Bu işlem sırasında gıda ısınmakta, su buharlaşmakta ve yüzeyde yavaş yavaş bir kabuk belirmektedir. Şekil 2.7’de bir fritözün nasıl çalıştığını ve içindeki ana bölümleri gösteren sıcak havada kızartma ekipmanı şematik olarak gösterilmektedir. Yüksek üfleme havası hızı ve havayı hazne içinde hareket ettirmek için bir sirkülasyon fanının yardımıyla tüm süreç derin yağda kızartmadan önemli ölçüde daha kısa sürede gerçekleşmektedir (Wang vd., 2021).



Şekil 2.6. Sıcak hava fritözünün şematik gösterimi (Bal ve Küçüköner, 2023)



Şekil 2.7. Sıcak hava fritözünün ana bölümleri

2.6.2. Sıcak Havada Kızartma İşleminin Gıda Kalitesine Etkileri

Sıcak havada kızartma, tüketiciler tarafından geniş çapta kabul gören (Dong vd., 2022) ve gıdalara sıcak hava püskürtülerek kızartılan yeni bir pişirme teknolojisidir (Liu vd., 2022). Son yıllarda geliştirilen sıcak hava fritözleri, kızartma sırasında oluşan yüksek yağ alımını engellemektedir (Goujot vd., 2021).

Sıcak havada kızartma işlemi uygulanan gıdaların daha düşük yağ içeriğine ve kaloriye sahip olduğu bilinmektedir. Ancak kullanılan yağın daha az olması nedeniyle doku, renk, tat ve nem içeriği gibi çeşitli fiziksel özellikler etkilenebilmektedir (Yu vd., 2020).

Sıcak havada kızartma işleminde kızartma sıcaklığı, kızartma süresi ve gıda kabuğunun mikro yapısı da önemli bir rol oynamaktadır (Wang vd., 2021). Geleneksel derin yağda kızartma ile sıcak havada kızartma arasında önemli farklar olduğu belirlenmiştir. Bu iki yöntemin arasındaki en temel fark işlem sırasında yağ kullanımı veya kullanılmamasından kaynaklanmaktadır; bununla birlikte sıcak havada kızartma işleminde, kimyasal, termal, dokusal ve renkle ilgili önemli değişiklikler meydana gelmektedir (Coria-Hernández vd., 2023).

Gıdanın yağ emilimi geleneksel derin yağda kızartma ve sıcak havada kızartma işlemlerinde önemli kalite parametrelerden biri olup her iki teknik açısından da farklı sonuçlar vermektedir. Araştırmalar göz önüne alındığında sıcak havada kızartma işlemindeki yağ alımının derin yağda kızartmaya oranla %90 azaldığı görülmektedir (Andrés vd., 2013). Sıcak havada kızartma ve geleneksel derin yağda kızartma işlemlerindeki yağ alımının farklı olmasının sebebi bu yöntemlerin uygulanış biçimlerinden kaynaklanmaktadır. Derin yağda kızartılan gıdaların etrafı sıcak yağ ile kaplanırken, sıcak havada kızartılan gıdaların etrafı yağ damlacıklarından oluşan bir buhar ile kaplanmaktadır (Teruel vd., 2015). Araştırmacılar kızartılmış gıda maddelerinin toplam yağ içeriğini farklı emme mekanizmalarının sonucu olarak kabul edilebilecek üç farklı fraksiyon geliştirmiştir. Bunlar; (I) kızartma süresi boyunca emilen ürün yağı içeriğinin bir parçası olan yapısal yağ, (II) nüfuz eden sıcak yağdan çıkarıldıktan sonra soğutma süresi boyunca kızartmalara emilen yağı temsil eden yüzey yağı ve (III) ürünün yüzeyinde kalan ve mikro yapıya nüfuz etmeyen yağı temsil eden yüzey yağı olarak gruplandırılmaktadır. Daha önce de belirtildiği gibi derin yağda kızartma durumunda yağ emme mekanizması iyice araştırılmıştır ancak sıcak havada kızartılan gıdalara yağın nüfuz etme mekanizması hakkında yayınlanmış bir çalışma henüz bulunmamaktadır (Ghaitaranpour vd., 2021).

Sıcak havada kızartma işlemi uygulanan kızartmış gıdaların dokusal özelliklerinde, ısı ve su taşıma işlemleri kinetiğinin yanı sıra yağ alım hızı ve derecesinde de farklılıklar mevcuttur. Sıcak havada kızartılmış ürünler soğutma sırasında daha fazla kabuk büzülmesi göstermektedir (Wang vd., 2021).

Kızartılmış kaliteli gıda ile ilgili öne çıkan parametre, doku özelliğidir. Gevreklik, nem içeriği ile doğrusal bir ilişki içinde azalır, ancak yağ alımı ve mekanik özelliklerde önemli değişikliklere yol açmaz. Sıcak havada kızartma işlemi ile yüksek gevrekliğe sahip gıdalar oluşmaktadır (Wang vd., 2022). Kızartılmış gıdaların çıtır kabuğu; protein denatürasyonu, suyun buharlaşması ve nişastanın jelatinleşmesi gibi dış katmanın hücresel

düzeydeki fizikokimyasal değişimlerinden kaynaklanmaktadır (Yu vd., 2020). Gıdalardaki nem kaybı, sıcak havada kızartma işleminde, derin yağda kızartma işlemine göre daha yavaş meydana gelmektedir. Nem kaybı düzeyindeki bu fark, ısı transfer hızının sıvı ortamda (dökme yağ) bir gaz ortama (yağ buharı) göre çok daha hızlı olmasıyla ilişkilendirilebilir (Wang vd., 2021). Sıcak havada kızartma ile pişirilen gıdalar daha yüksek gevreklik gösterir ve bu da daha yüksek nem kaybı ve protein denatürasyonuna veya daha kısa peptit zincirlerinin oluşumuna bağlı olabilmektedir (Fang vd., 2023).

Nandasiri vd. (2023) tarafından gerçekleştirilen çalışmada brokoli, kırmızilahana, lahana, brüksel lahanası gibi turpgiller familyasından olan sebzelere, içerisinde sıcak havada kızartma işlemi de yer alan çeşitli kızartma işlemleri uygulanmış ve antioksidan kapasiteleri incelenmiştir. Sonuçlar, sıcak havada kızartma işlemi ile elde edilen ürünlerin antioksidan kapasite açısından daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. 160°C 10 dk.'da sıcak havada kızartılan lahana ve brokoli filizlerinin en yüksek antioksidan kapasiteye sahip olduğu bulgulanmıştır.

Salamatullah vd. (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada sıcak havada kızartılan patlıcan sebzesinin biyoaktif özellikleri incelenmiş ve orta pişmiş patlıcanın pişmemiş patlıcana kıyasla fenolik madde içeriğinin daha yüksek düzeyde olduğu bulgulanmıştır.

Cao vd. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada sıcak havada kızartılmış tavuk nugget'larının nem kaybının, derin yağda kızartılmış tavuk nugget'larına göre daha düşük olduğu bulgulanmıştır. Bu durum sıcak havada kızartma işleminde daha düşük ısı transfer hızıyla açıklanabilmektedir. Sıcak havada kızartma işleminde nem içeriği ilk 6 dakika içinde yavaş yavaş, daha sonra 6-12 dakika arasında hızlı bir şekilde azalmış ve 12 dakika sonra stabilleşme eğilimi göstermiştir. Yine aynı şekilde tavuk parçalarının yağ içeriği $34,02 \pm 0,63$ (g yağ/100 g kuru madde) olarak bulgulanmıştır. Pişmiş tavuk parçalarının yağ içeriği derin yağda kızartmada 39,50 ile 41,26 (g yağ/100 g KM) arasında ve sıcak havada kızartmada ise 28,62 ile 32,21 (g yağ/100 g KM) arasında değişmiştir. Sıcak havada kızartılmış tavuk parçalarının yağ içeriği, derin yağda kızartılmış tavuk parçalarına göre %25 daha düşük çıkmıştır.

Gouyo vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada geleneksel derin yağda kızartılan ve sıcak havada kızartılan patateslerin dokusal özellikleri mekanik kuvvetler ve ultrases kullanılarak karşılaştırılmış ve bunun sonucunda geleneksel derin yağda kızartılan patateslerin daha çıtır olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Fikry vd. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, sıcak havada kızartma işleminde sıcaklık ve süre arttıkça kızarmış falafelin nem içeriğinin zamanla azaldığı bulgulanmıştır. Bunun yanı sıra sıcak havada kızartılmış falafelin yağ içeriği ile kızartma sıcaklığı ve süresi arasında olumsuz bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Aynı sıcaklıkta, kızartma süresi arttıkça yağ içeriği azalmaktadır. Kızarmış tatlı patates için de benzer bir eğilim bulunmaktadır. Ayrıca sonuçlar, sıcak havada kızartılmış falafelin yağ içeriğinin, maksimum 64°C koşullarında 20 dakika kızartıldıktan sonra yaklaşık %15 oranında azaldığını ortaya koymuştur. Bu gözlem kızartma işlemi boyunca yağ kullanılmadığı halde falafelin yağ transferinden kaynaklanmaktadır. Sıcak havada kızartma işleminde, kılcal basınçtan dolayı gözeneklerden uzaklaştırılan suyun yerini alacak başka bir sıvı olmadığı için kızartılan ürünün içine yağ girmektedir. Sıcak havada kızartma işlemi uygulanan falafelin yağ içeriğinde azalma görülürken L değerinde belirgin bir artış görülmüştür. L değerindeki bu artış gıdada görülen su kaybı ve yağ alımı ile ilişkilendirilmiştir. Sıcak havada kızartılan falafelin duysal açıdan daha iyi olduğu yani derin yağda kızartmaya göre daha gevrek, daha iyi bir tatta olduğu ve daha iyi görüldüğü, panelistler tarafından iyi sonuçlar aldığı ve tercih edilebilirliğinin yüksek olduğu belirlenmiştir.

Priya vd. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, sıcak havada kızartılmış ve derin yağda kızartılmış balık kroketlerinin nem içeriğinde önemli bir fark olduğu bulunmuştur. Sıcak havada kızartılmış (%43,67) balık kroketlerinde derin yağda kızartmaya (%26,33) kıyasla daha yüksek nem içeriği belirlenmiştir. Sıcak havada kızartma işlemindeki nem içeriğinin fazla olmasının sebebinin derin yağda kızartmaya göre daha uzun kızartma süresi olabileceği düşünülmektedir. Balık kroketlerinin rengine bakıldığında ise sıcak havada kızartılmış balık kroketlerinin, derin yağda kızartılmış balık kroketlerine göre daha açık renkli olduğu belirlenmiştir. Kırmızılık değerleri (a) önemli bir farklılık göstermezken, sarılık değerleri (b) sıcak havada kızartılmış üründe daha yüksek bulunmuştur.

Amany vd. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada geleneksel kızartma işlemi ile sıcak havada kızartma işlemi kıyaslanmış ve sıcak havada kızartma işlemi ile kızaran patatesler en düşük yağ içeriğine sahip olmuştur. Yine aynı çalışmada kızartılan patateslerin akrilamid içeriği incelenmiş ve sıcak havada kızartılmış patateslerin akrilamid içeriğinin, derin yağda kızartılmış patateslere göre önemli ölçüde daha düşük olduğunu bulgulanmıştır. Derin yağda kızarmış patateslerin akrilamid seviyeleri 290 ppm iken, sıcak havada kızartılmış olanların akrilamid seviyeleri 78 ppm olarak bulunmuştur. Başka bir ifadeyle sıcak havada kızartılmış patateslerdeki akrilamid içeriği, geleneksel kızartılmış örneklerle

kıyasla %73,11 oranında azalmıştır. Sıcak havada kızartılmış patates cipsindeki düşük akrilamid seviyesi, kızartma sıcaklığının geleneksel kızartma sıcaklığından daha düşük olmasından kaynaklanmıştır. Bunun yanı sıra kızartma yağındaki polar madde içeriği incelenmiş ve kızartma sonunda geleneksel kızartma için %0,63, vakumlu kızartma işlemi için %0,45 ve sıcak havayla kızartma işlemi için %0,33 olarak bulunmuştur.

Zhou vd. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada; sıcak havada kızartma ile kızarmış karidesin L değerleri kontrol grubuna göre anlamlı olarak daha yüksek çıkmıştır, bu da sıcak havada kızarmış karidesin parlaklığının çiğ karides etinden daha yüksek olduğunu göstermektedir. Sıcak havada kızartmanın sıcaklığı arttıkça, karides etinin parlaklığı kademeli olarak 77,36'dan 72,59'a düşmüştür. Bu da su kaybına ve ışık yansımalarının azalmasına bağlanmıştır. Ancak karides etinin kırmızılık ve sarılık değeri, kızartma sıcaklığının artmasıyla giderek artmaktadır. Sonuç olarak kırmızılık ve sarılık değerleri sıcak havada kızartılmış karides etinde en yüksek değerde bulunmuştur.

Lee vd. (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada geleneksel derin yağda ve sıcak havada kızartılan tavuk etlerinin PAH ve akrilamid miktarları göz önünde bulundurulmuş ve derin yağda kızartılan tavuk etlerinde akrilamid ve PAH değerlerinin anlamlı derecede yüksek çıktığı bildirilmiştir.

Coria-Hernández (2023) tarafından yapılan bir çalışmada sıcak havada kızartma işleminin akrilamid miktarını derin yağda kızartmaya kıyasla yaklaşık %90 düzeyinde azalttığı rapor edilmiştir.



3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Kızartma işlemi patates örneklerine uygulanmıştır. Patatesler Aydın toptan halinden temin edilmiştir. Kızartma yağı (rafine ayçiçek yağı) Aydın'da faaliyet gösteren yerel bir marketten temin edilmiştir. Kullanılan materyaller Resim 3.1'de gösterildiği gibidir.



Resim 3.1. Tez çalışmasında kullanılan patates ve ayçiçek yağına ait görseller

3.2. Yöntem

3.2.1. Patates Örneklerinin Hazırlanması ve Kızartma

Öncelikle patatesler yıkanmış ve kabukları soyulmuştur. Daha sonra patates dilimleri 8 mm x 8 mm x 60 mm boyutunda eşit olacak şekilde doğranmıştır. Patates dilimleri farklı konsantrasyonlardaki (%0-10) tuz çözeltilerinde 30 dk. bekletildikten sonra, peçete ile üzerlerindeki fazla su alınmıştır. Kızartma işlemi, sıcak hava fritözünde (airfryer) (Philips, 3000 Series XL, Hollanda) gerçekleştirilmiştir. Kızartma işlemleri 21 dilim patates (~100 g patates) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kızartma sırasında farklı oranlarda değişen yağın (10-50 g/kg) kullanıldığı denemeler gerçekleştirilmiştir. Belirlenen ölçülerde dilimlenen

patatesler ayçiçek yağında; 160-200°C arasında değişen sıcaklıklarda, 7,5-25 dk. arasında değişen sürelerde, 10-50 g/kg arasında değişen yağ içeriğinde ve %0-10 tuz içeriğinde değişen parametrelerde kızartılmıştır. Her kızartma işlemi için belirlenen 4 farklı bağımsız değişken (sıcaklık, süre, yağ ve tuz) üzerinden 29 farklı deneme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kızartma işlemlerinin şematik gösterimi Şekil 3.1’de verildiği gibidir.



Şekil 3.1. Patates örneklerinin hazırlanması ve kızartma işleminin şematik gösterimi

3.2.2. Patates örneklerinden yağ ekstraksiyonu

Kızartma işlemi tamamlandıktan sonra kızaran patates dilimleri yağlı kağıtta ufalanıp, kartuşa doldurulmuş ve *n*-hekzan ile Resim 3.2’de de gösterildiği üzere hızlı yağ tavin cihazı (SER148, Velp Scientifica, İtalya) kullanılarak yağ ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir. Örneklerden elde edilen yağlar 3-MCPD-E ve G-E analizine tabi tutulmuştur.



Resim 3.2. Tez çalışmasında kullanılan hızlı yağ tavin cihazı ve elde edilen yağlara ait görseller

3.2.3. Kızartma işleminin Optimizasyonu

Patates örneklerinin sıcak hava fritözünde kızartılması sırasında işlem sıcaklığı, süresi, yağ ve tuz oranının etkileri Design-Expert (Design-Expert 7.0, ABD) yazılımıyla birlikte yanıt yüzey yöntemi (Response Surface Methodology, RSM) ile merkezi tümleşik dizayn (Central Composite Design, CCD) kullanılarak oluşturulmuş deneme planı ile incelenmiş ve optimum koşullar belirlenmiştir. Optimum noktaların tespitinde patates örneklerinde minimum 3-MCPD-E ve G-E miktarı hedeflenmiştir. Deneme deseninde sıcaklık (160-200°C), süre (7,5-25 dk.), yağ oranı (10-50 g/kg) ve tuz oranı (%0-10) bağımsız değişkenler olarak incelenmiştir. 3-MCPD-E ve G-E içeriği bağımlı değişken olarak seçilmiştir. Belirlenen deneme planına göre kızartma optimizasyonu için 29 deneme

gerçekleştirilmiştir. Kızartma işlemi sırasında kullanılan her bir bağımsız değişken için kodlanmış seviyeler Çizelge 3.1’de gösterilirken; Çizelge 3.2’de sıcak havada kızartma işleminin ayrıntılı deneme planı verilmiştir. Elde edilen deneysel veriler ikinci derece polinom modeline örtüştürülmüş ve regresyon katsayıları çoklu doğrusal regresyon ile elde edilmiştir.

Çizelge 3.1. Sıcak havada kızartma işlemine ait yanıt yüzey yöntemi için değişkenler ve kodlanmış seviyeleri

Bağımsız Değişken	Birim	Sembol	Seviye				
			- α	-1	0	1	+ α
Sıcaklık	°C	A	160	170	180	190	200
Süre	dk.	B	7,5	11,88	16,25	20,63	25,00
Yağ	g/kg	C	10,00	20,00	30,00	40,00	50,00
Tuz	%	D	0	2,5	5	7,5	10

Çizelge 3.2. Sıcak havada kızartma sırasında kullanılan ayrıntılı deneme planı

Deneme No	Sıcaklık (°C)	Süre (dk.)	Yağ (g/kg)	Tuz (%)
1	190,00	20,63	20,00	7,50
2	190,00	11,88	20,00	7,50
3	190,00	20,63	40,00	7,50
4	180,00	16,25	50,00	5,00
5	170,00	11,88	20,00	2,50
6	170,00	11,88	40,00	7,50
7	170,00	20,63	40,00	7,50
8	190,00	11,88	40,00	2,50
9	180,00	16,25	30,00	10,00
10	160,00	16,25	30,00	5,00
11	180,00	16,25	30,00	5,00
12	200,00	16,25	30,00	5,00
13	170,00	11,88	20,00	7,50
14	180,00	16,25	30,00	5,00
15	170,00	20,63	20,00	7,50
16	180,00	16,25	30,00	5,00
17	180,00	25,00	30,00	5,00
18	180,00	16,25	30,00	5,00
19	190,00	11,88	20,00	2,50
20	190,00	20,63	20,00	2,50
21	180,00	16,25	10,00	5,00
22	180,00	7,50	30,00	5,00
23	170,00	20,63	20,00	2,50
24	180,00	16,25	30,00	0,00
25	170,00	20,63	40,00	2,50
26	190,00	11,88	40,00	7,50
27	190,00	20,63	40,00	2,50
28	170,00	11,88	40,00	2,50
29	180,00	16,25	30,00	5,00

3.2.4. Derin Yağda Kızartma

Derin yağda kızartma işlemi için patatesler yıkanmış ve kabukları soyulmuştur. Daha sonra patates dilimleri 8 mm x 8 mm x 60 mm boyutunda eşit olacak şekilde doğranmıştır. Patates dilimleri %0,11 oranında tuz içeren çözeltide 30 dk. bekletildikten sonra, peçete ile üzerlerindeki fazla su alınmıştır. Kızartma işlemi, endüstriyel fritöz (Remta, Türkiye) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kızartma işlemi 21 dilim patates (~100 g patates) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Belirlenen ölçülerde dilimlenen patatesler 2 L ayçiçek yağında, 181,76°C sıcaklıkta, 3,50 dk. boyunca kızartılmıştır. Sıcaklık ölçümleri termokupl (Testo176 T4) ile gerçekleştirilmiştir.

3.2.5. Kızartma Yağında Yapılan Analizler

Kızartma işleminden elde edilen yağlara aşağıdaki yöntemlerde belirtilen analizler uygulanmıştır.

3.2.5.1. 3-MCPD-E ve G-E Analizi

Patates örneklerinden ekstrakte edilen yağların 3-MCPD-E ve G-E içerikleri indirekt analiz metodlarından olan ve alkali koşullarda transesterifikasyona dayalı DGF C VI 18-10 (Anonim, 2009) standart metodu kullanılarak tespit edilmiştir.

3.2.5.1.1. Çözeltiler

İç standart (working solution) stok çözeltisi: 3-MCPD-d5'ten 25 g tartılarak 100 mL toluende çözülmüştür. İç standart çalışma çözeltisi: Hazırlanan ana stok çözeltisinden 2 mL pipetle alınarak 100 mL toluende (v/v) çözülmüştür. Sodyum metoksit çözeltisi: Sodyum metoksitten 25 g tartılmış ve 1 L metanolde çözülmüştür.

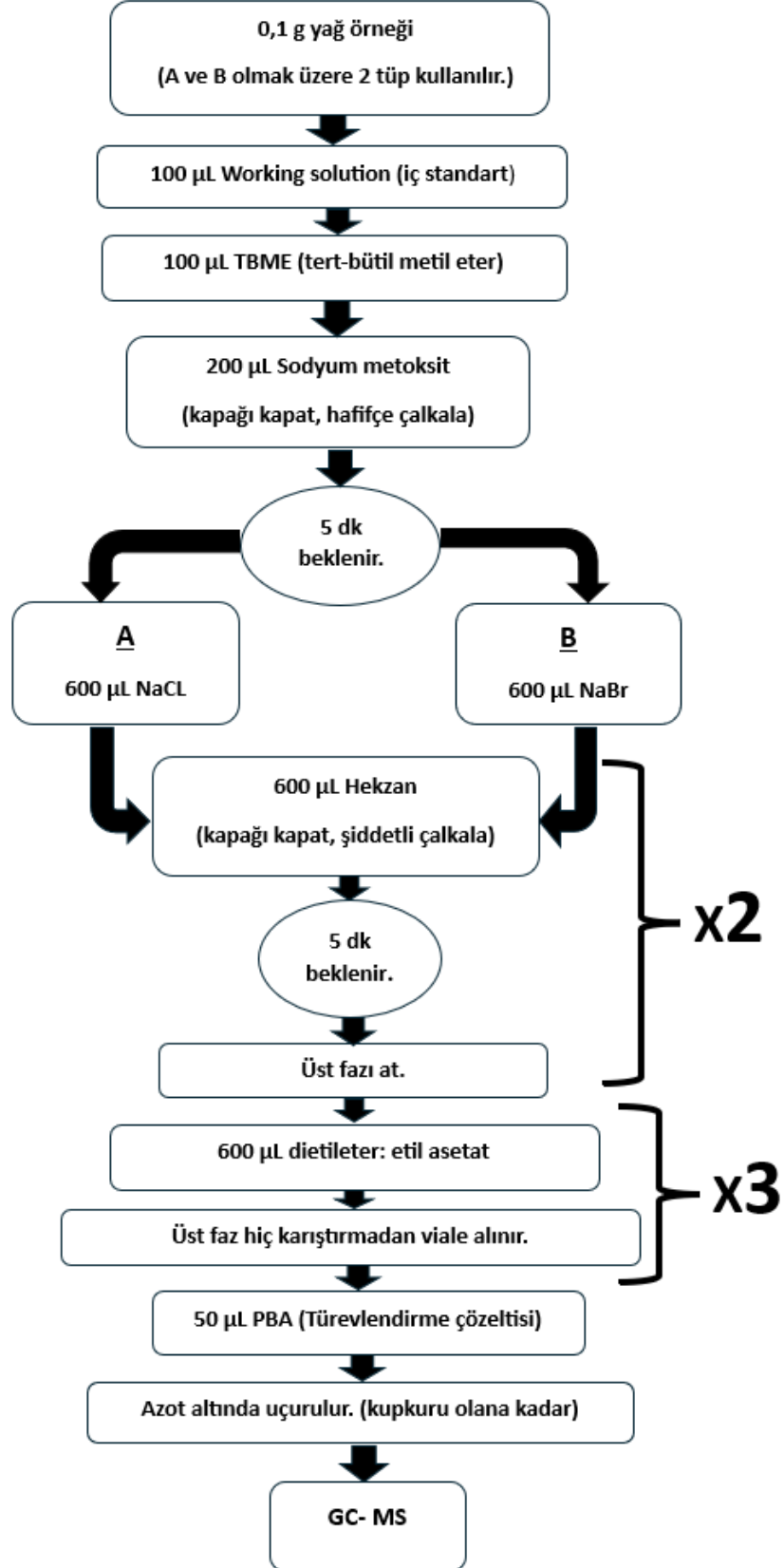
Asitlendirilmiş sodyum klorür (NaCl) çözeltisi: Çözelti 200 g/L (w/v) olacak şekilde hazırlanmıştır. Daha sonra bu çözeltiye %25'lik sülfürik asit çözeltisinden (v/v) 35 mL eklenerek asitlendirilmiştir.

Asitlendirilmiş sodyum bromür (NaBr) çözeltisi: Çözelti 600 g/L (w/v) olacak şekilde hazırlanmıştır. Daha sonra bu çözeltiye %25'lik sülfürik asit çözeltisinden (v/v) 35 mL eklenerek asitlendirilmiştir.

Türevlendirme çözeltisi: Fenil boronik asit, dietileterde doymuş hale gelinceye kadar eklenir ve çözelti hazırlanır.

3.2.5.1.2. Analizin Aşamaları

Patates kızartmasından elde edilen yağ örnekleri 2 ayrı tüp (Deney A ve Deney B) kullanılarak 0,1 gr olacak şekilde tartılmıştır. Tüpteki tartılan yağların üzerine 100 µl iç standart (working solution) eklenir ve hemen ardından 100 µl *tert*-bütil metil eter eklenmiştir. Hemen ardından tüplere 200 µl sodyum metoksit eklenerek tüpler iyice karıştırılmış ve ardından ağzı kapalı olacak şekilde 5 dk. bekletilmiştir. Bekleme süresi sonunda Deney A tüpüne 600 µl asitlendirilmiş sodyum klorür eklenirken diğer Deney B tüpüne ise 600 µl asitlendirilmiş sodyum bromür ilave edilmiştir. Daha sonra her iki tüpe de 600 µl hekzan koyulduktan sonra tüpler ağzı kapalı bir şekilde 5 dk. bekletilmiştir. 5 dk. sonunda tüplerde faz ayrımı gerçekleşmiştir ve bu faz ayrımının üst kısmı pipet kullanılarak atılmıştır. Aynı işlem ikinci defa gerçekleştirilmiş yani tüplere 600 µl hekzan eklenmiş ve üst faz tüpten atılmıştır. Ardından her iki tüpe de 600 µl dietileter:etil asetat (3:2) karışımı eklenmiş ve oluşan üst faz içerisinde sodyum sülfat bulunan vialle alınmıştır. Bu son yapılan işlem 3 kez tekrarlanmıştır. Ardından viallere 50 µl fenilboronik asit ilave edilmiştir. Viallerin ağzı kapatılarak çalkalanmıştır ve vial içerisinde hiç sıvı kalmayacak şekilde azot gazı altında hassas bir şekilde uçurma işlemi gerçekleştirilmiştir. Son olarak tamamen uçurulan viallere 500 µl izooktan ilave edilmiştir ve örnekler GC-MS ile analiz edilmiştir. Tüm bu aşamalar Şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. 3-MCPD-E ve glisidil ester analiz aşamaları

3.2.5.1.3. GC-MS Çalışma Koşulları

Esterlerin kantitatif tayini gaz kromatografi-kütle spektrometresi (GC-MS 2010, Shimadzu, Kyoto, Japonya) cihazı ile gerçekleştirilmiş ve kromatografik ayırım için Rxi-5MS kolonu (30 m uzunluk, 0.25 mm iç çap ve 0.25 µm film kalınlığı) (Restek, ABD) kullanılmıştır. Şekil 3.3’ de iç standart (3-MCPD-d5) ve 3-MCPD’ye ait GC-MS kromatogramı gösterilmektedir.

GC-MS cihazında uygulanacak çalışma koşulları aşağıda verildiği gibidir (Cheng vd., 2016):

Taşıyıcı gaz: Helyum

Taşıyıcı gaz akış hızı: 1,18 ml/dk.

Enjeksiyon modu: Splitless

3-MCPD’nin kütle/yük (m/z) oranı: 147

İç standart (3-MCPD-d5) kütle/yük (m/z) oranı: 150

Fırın sıcaklık programı: 80°C → 155°C (5°C/dk. artış ile) → 300°C, 5 dk. (60°C/dk. artış ile)

Kütle dedektörü: SIM modu

İyonizasyon voltajı: 70 eV

İyon ve arayüz sıcaklıkları: 200°C ve 280°C



Şekil 3.3. İç standart (3-MCPD-d5) ve 3-MCPD’ye ait örnek GC-MS kromatogramı

3.2.5.1.4. Sonuçların Hesaplanması

3-MCPD-E ve G-E'nin belirlenmesi için yapılan analizler 2 aşamadan meydana gelmektedir. Bu aşamaların ilkinde 3-MCPD-E ve G-E'nin toplam miktarı tespit edilir. Diğer aşamada ise sadece 3-MCPD-E'nin miktarı tespit edilmektedir (Karl vd., 2016).

İlk aşamada (Deney A) reaksiyonun durdurulması ve glisidolün uyarılmış 3-MCPD'ye dönüşmesi için asitlendirilmiş sodyum klorür (NaCl) kullanılmaktadır. Bu durumdan ötürü bu aşamada ilk olarak 3-MCPD ve glisidol birbirinden ayrılmadığı için toplam ne kadar olduğu belirlenmektedir (Karl vd., 2016).

İkinci aşamada (Deney B) ise, asitlendirilmiş sodyum içermeyen bir tuz çözeltisi (NaBr) kullanılarak glisidolün 3-MCPD'ye dönüşümü engellenir. Bu sayede ortamda tek bulunan 3-MCPD'nin belirlenmesi daha kolay gerçekleşmiş olur. Her iki aşamadan da elde edilen sonuçların farkı ile transformasyon katsayısı çarpılarak glisidol içeriği belirlenir (Karl vd., 2016).

3-MCPD ve G-E'nin toplam miktarı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır:

$$W_{3\text{-MCPD (A)}} = (W_{d5\text{-3-MCPD (A)}} \times SF_A) / SF_{iA} \text{ (3-MCPD + glisidil ester)}$$

$$W_{3\text{-MCPD (A)}} = 3\text{-MCPD'nin Deney A'ya ait kütle fraksiyonu (mg/kg)}$$

$$W_{d5\text{-3-MCPD (A)}} = 3\text{-MCPD-d5'in Deney A'ya ait kütle fraksiyonu (mg/kg)}$$

$$SF_A = \text{Deney A'ya ait 3-MCPD'nin pik alanı}$$

$$SF_{iA} = \text{Deney A'ya ait 3-MCPD-d5'in pik alanı}$$

Bağlı 3-MCPD miktarı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır:

$$W_{3\text{-MCPD (B)}} = (W_{d5\text{-3-MCPD (B)}} \times SF_B) / SF_{iB} \text{ (3-MCPD)}$$

$$W_{3\text{-MCPD (B)}} = 3\text{-MCPD'nin Deney B'ye ait kütle fraksiyonu (mg/kg)}$$

$$W_{d5\text{-3-MCPD (B)}} = 3\text{-MCPD-d5'in Deney B'ye ait kütle fraksiyonu (mg/kg)}$$

$$SF_B = \text{Deney B'ye ait 3-MCPD'nin pik alanı}$$

$$SF_{iB} = \text{Deney B'ye ait 3-MCPD-d5'in pik alanı}$$

Glisidol miktarı ise aşağıdaki formüle göre belirlenmiştir:

$$W_{\text{glisidil ester}} = t \times (W_{3\text{-MCPD (A)}} - W_{3\text{-MCPD (B)}})$$

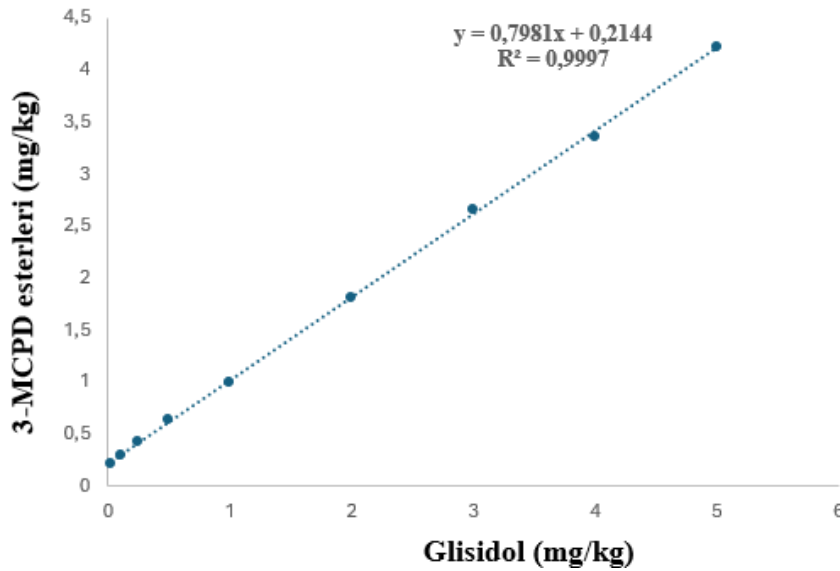
W_{Glisidol} = Örnekte bulunan glisidolün kütle fraksiyonu (mg/kg)

t = Kalibrasyon eğrisinden $y=mx+n$ denkleminde y hesaplanan transformasyon oranı (1/m)

y = $W_{3\text{-MCPD}}$ 'nin kütle fraksiyonu

x = W_{Glisidol} 'ün kütle fraksiyonu

Şekil 3.4'de görülen kalibrasyon grafiği transformasyon oranının (t) hesaplanabilmesi için oluşturulmuştur. Bu grafiğin oluşturulması için tüpe 0,1 g yağ (zeytinyağı) tartılmış ve yağın üzerine 100 µl glisidol çözeltisi eklendikten sonra yalnızca deney A tüpüne göre analiz işlemleri tamamlanmıştır. 0,025 ppm, 0,1 ppm, 0,25 ppm, 0,5 ppm, 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, 4 ppm ve 5 ppm olmak üzere toplamda 9 farklı konsantrasyonda glisidol çözeltileri toluen kullanılarak hazırlanmıştır.



Şekil 3.4. Kalibrasyon grafiği

3.2.5.2. Peroksit Sayısı

Kızartma yağında; AOCS Cd 8-53 metoduna göre peroksit sayısı belirlenmiştir (AOCS, 2003).

3.2.5.3. Yağ Asidi Bileşimi

Patates kızartmalarından elde edilen yağların, yağ asidi metil esterleri IUPAC (1987) metoduna göre hazırlanmış ve yağ asidi bileşimleri ise gaz kromatografi cihazı (GC 2010, Shimadzu, Kyoto/Japonya) ile belirlenmiştir. Yağ asidi bileşimi analizinde; yağ asidi metil esterlerini oluşturmak için ilk olarak bir erlene 0,4 g kızartma yağından tartılmış ve daha sonra tartılan bu yağın üzerine 4 mL izooktan eklenmiştir. Hemen ardından erlene 0,2 mL metanollü potasyum hidroksit (2 N) eklendikten sonra erlen 30 saniye kadar çalkalanmış ve 6 dk. boyunca karanlık bir yerde bekletilmiştir. Bekleme süresinin sonunda erlene 0,45 mL hidroklorik asit (1 N) eklendikten sonra 1-2 damla metil oranj damlatılmış ve erlenler yan duracak şekilde 15 dk. boyunca bekletilmiştir. Süre bitiminde erlen içindeki oluşan faz ayrımından üst faz viallere alınarak GC’de analiz edilmiştir.

Gaz kromatografi cihazının çalışma koşulları aşağıda verildiği gibidir:

Gaz kromatografi cihazı: GC 2010, Shimadzu, Kyoto, Japonya

Detektör: Alev iyonizasyon dedektörü

Kolon: Ergimiş silika kapiler kolon, DB-23, 60 m, 0.25 mm iç çap ve 0.25 µm film kalınlığı

Taşıyıcı gaz: Azot

Split oranı: 1:80

Enjeksiyon bloğu sıcaklığı: 230°C

Kolon sıcaklığı: 190°C

Dedektör sıcaklığı: 240°C

Sonuçlar % metil esterleri olarak verilmiştir.

3.2.5.4. Tokoferol Bileşimi

Kızartma yağının tokoferol içeriği yüksek performanslı sıvı kromatografi (HPLC) (Shimadzu, Kyoto/Japonya) cihazında UV dedektör aracılığıyla tespit edilmiştir.

HPLC cihazının çalışma koşulları aşağıda verildiği gibidir:

Detektör: UV dedektör

Kolon: InertSustain NH₂ kolon, 250 mm uzunluk × 4,6 mm iç çap × 5 µm parçacık büyüklüğü (GL Sciences, Tokyo, Japonya)

Mobil faz: *n*-hekzan:izo-propanol (99,5:0,5; v/v)

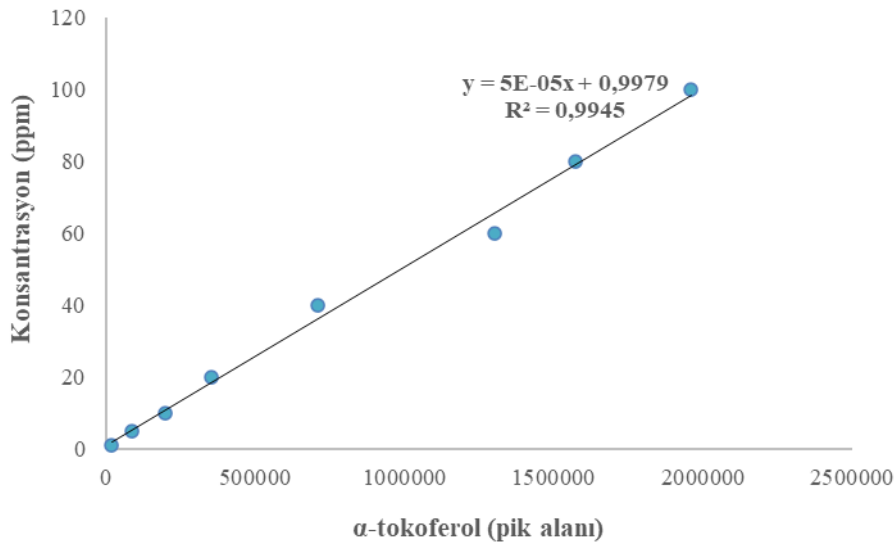
Akış hızı: 0,5 mL/dk.

Fırın sıcaklığı: 40°C

Enjeksiyon hacmi: 20 µL

Dalga boyu: 290 nm

Yağ örneklerindeki tokoferol içeriğinin belirlenebilmesi için Şekil 3.5’de görülen kalibrasyon grafiğinden yararlanılmıştır.



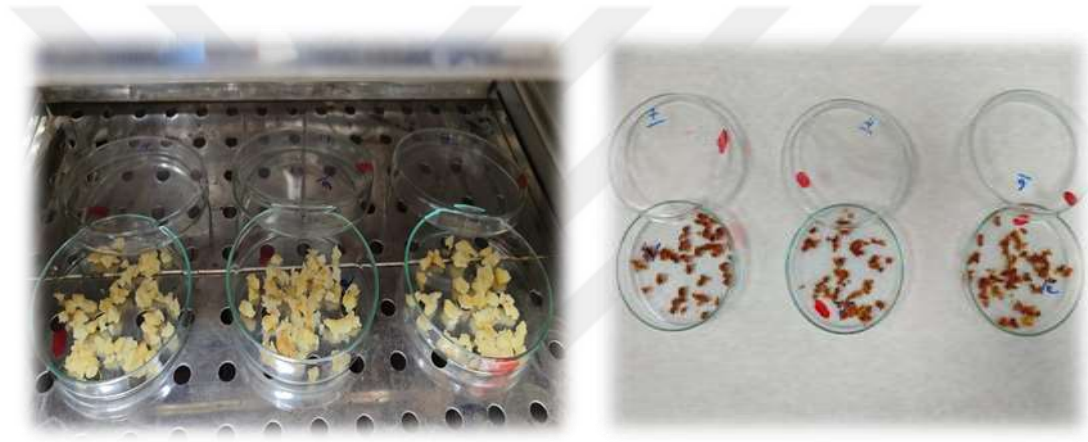
Şekil 3.5. α-tokoferole ait kalibrasyon grafiği

3.2.6. Kızartılmış Patateste Yapılan Analizler

Kızartma işlemi uygulanan patateslere aşağıdaki yöntemlerde anlatılan analizler uygulanmıştır.

3.2.6.1. Nem Miktarı

Kızartılmış patates örneklerinin nem içeriği etüvde 105°C’de belirlenmiştir (AOAC 950.46). Resim 3.3’de kızartılmış patateslerin nem tayinine ait görseller yer almaktadır.



Resim 3.3. Kızartılmış patateslerin nem tayinine ait görseller

3.2.6.2. Yağ Miktarı

Kızartılmış patates örneklerinin yağ içeriği hızlı yağ tayin cihazı (SER148, Velp Scientifica, İtalya) kullanılarak belirlenmiş ve çözgen olarak *n*-hekzan kullanılmıştır (AOAC 920.39C). Resim 3.4’de hızlı yağ tayini cihazına ait görsel yer almaktadır.



Resim 3.4. Hızlı yağ tayini cihazına ait görsel

3.2.6.3. Renk Değerleri

Patates örneklerinin renk ölçümleri kolorimetre (PCE-CSM-5, Almanya) ile gerçekleştirilmiştir ve renk ölçümünde CIE'in sistemi kullanılarak L, a ve b değerleri belirlenmiştir. Bu değerler incelendiğinde L parlaklık (L= 100 beyaz, L=0 siyah), a +kırmızı, -yeşil, b +sarı, -mavi, C doygunluk-berraklık ve h° (Hue) ton değerlerini temsil etmektedir (Pathare vd., 2013).

Patates kızartmasındaki renk değişimi aşağıda yer alan formüle göre hesaplanmıştır.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta a^2 + \Delta b^2 + \Delta L^2}$$

Patatesler sıcak havada ve derin yağda kızartıldıktan sonra rastgele 6'şar dilim olmak üzere 3 grup oluşturulmuştur. Kızartılmış patateslerin 6 dilimi yan yana bitişik şekilde dizildikten sonra uç, orta ve diğer uç olmak üzere toplamda 3 bölgeden ölçüm alınmıştır. Bu işlem patatesin 4 yüzeyine de uygulanmıştır. İlk yüzeyden renk ölçümü yapıldıktan sonra patatesler 90 derece döndürülerek diğer yüzde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde patatesler 90'ar derece döndürülmek suretiyle dört farklı yüzeyde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Resim 3.5'te sıcak havada ve derin yağda kızartılmış patateslerin renk ölçümlerine ait görseller yer almaktadır.



Resim 3.5. Sıcak havada ve derin yağda kızartılmış patateslerin renk ölçümlerine ait görseller

3.2.6.4. Duyusal Analiz

Sıcak havada ve derin yağda kızartılan patateslerin duyusal değerlendirilmesi 20-27 yaş aralığında 14 kadın ve 7 erkekten oluşan toplam 21 panelist tarafından gerçekleştirilmiştir. Öncelikle panelistlere değerlendirme kriterleri hakkında bilgi verilmiştir. Panelistler örnekleri görünüş, renk, sertlik, koku, gevreklik, yumuşaklık, yağlılık, lezzet-tat, tüketim sonrası ağızda kalan his ve genel kabul edilebilirlik açısından duyusal analiz laboratuvarında yaklaşık $25\pm 3^{\circ}\text{C}$ 'de değerlendirmişlerdir. Değerlendirmede 5 puanlı hedonik skala kullanılmıştır (1=Hiç beğenmedim, 2=Beğenmedim, 3=Ne beğendim ne beğenmedim, 4=Beğendim, 5=Çok beğendim). Örnekler, rastgele üç basamaklı sayılarla kör kodlanmış ve rastgele bir servis sırası ile tadılmıştır. Örnekler arasında ağız temizlemek için su verilmiştir. Sonuçlar panelist puanlarının ortalaması şeklinde ifade edilmiştir.

Duyusal değerlendirme sırasında kullanılacak olan “Duyusal Değerlendirme Formu-Ek 1”in hazırlanması aşamasında Rahman vd. (2017), Zhang vd. (2022) yapmış oldukları çalışmalar göz önünde bulundurulmuştur ve form Deniz Şirinyıldız (2024) tarafından kullanılan formda değişiklikler yapılarak oluşturulmuştur.

3.2.7. İstatistiki Değerlendirme

Kızartma işlemlerinin optimizasyonu, Design-Expert (Design-Expert 7.0, ABD) yazılımı kullanılarak yanıt yüzey yöntemi (RSM) ile gerçekleştirilmiştir. Uyum eksikliği, F -değerleri ve R^2 değerleri oluşturulan modellerin istatistiki olarak yorumlanmasında önem taşımaktadır. Deneysel veriler ikinci derece polinom modeline örtüştürülerek ve regresyon katsayıları aşağıda yer alan eşitlik kullanılarak çoklu doğrusal regresyon ile elde edilmiştir.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{\substack{i=1 \\ i < j}}^{k-1} \sum_{j=2}^k \beta_{ij} X_i X_j$$

Y: tahmin edilen bağımlı değişken

X_i, X_j : Y değerini etkileyen bağımsız değişkenler ($i \neq j$)

β_0 : Kesişim regresyon katsayıları

β_i : Doğrusal regresyon katsayıları

β_{ii} : İkinci dereceden regresyon katsayıları

β_{ij} : Etkileşim regresyon katsayıları

k: değişken sayısı

Optimum koşullar altında sıcak havada kızartılan patatesler ve derin yağda kızartılan patateslerin fizikokimyasal analizlerine ait sonuçlar ve duyu analizlerine ait sonuçlar SPSS 15.0 (Statistical Package for Social Science, ABD) paket programı kullanılarak bağımsız gruplar t -testi ile değerlendirilmiştir. Ayrıca bu sonuçlar arasında korelasyonun belirlenmesi amacı ile %95-99 güven aralığında Pearson korelasyon analizi (SPSS 15.0) uygulanmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Kızartma İşleminin İşlem Parametreleri Üzerine Etkisi

Bu tez çalışmasında kızartma sırasında uygulanan işlem koşullarının 3-MCPD-E ve G-E üzerine etkisi yanıt yüzey yöntemiyle tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında, kızartma işlemi için 4 bağımsız değişken belirlenmiştir. Bunlar; sıcaklık (°C), süre (dk.), yağ oranı (g/kg) ve tuz oranı (%)’dır. Yapılan çalışmalarda, özellikle kızartma sıcaklık ve süresinin artmasıyla her iki kontaminantın da artış gösterdiği ancak sıcaklık ve sürenin daha da artması durumunda bu kontaminantların degrade olabildiği tespit edilmiştir (Goh vd., 2021). Ancak, bunun tersi sonuçların elde edildiği çalışmalar da rapor edilmiştir (Wong vd., 2017). Özetle; kızartma sırasında 3-MCPD-E ve G-E oluşumuna etki eden faktörler üzerine çalışmalar yapılmış olsa da bu bileşiklerin kızartma sırasında değişimi üzerine net bir sonuç ortaya konabilmiş değildir (Yuan vd., 2022). Kızartma işlemindeki bağımsız değişkenlere (sıcaklık, süre, yağ oranı ve tuz oranı) ait aralıklar literatür verileri ışığında ve yapılan ön denemelerle belirlenmiştir.

Kızartma işleminde bağımsız değişkenlerin yanıtlar üzerine etkisi Design-Expert paket programı kullanılarak modellenmiş ve kızartma işleminin koşulları minimum 3-MCPD-E ve G-E miktarı dikkate alınarak optimize edilmiştir.

Kızartma işleminde deney tasarımını oluşturmak amacıyla 4 değişkenli merkezi tümleşik tasarım kullanılmış ve program doğrultusunda beşi merkez noktada gerçekleştirilecek olan tekrarlar şeklinde 29 farklı noktada deneysel çalışma önerilmiştir. Çizelge 4.1’de görüldüğü üzere deneme planı, deneysel 3-MCPD-E düzeyleri, modelden tahmin edilen 3-MCPD-E düzeyleri, kalıntı ve sapma değerleri ayrıntılı şekilde gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, 3-MCPD-E düzeyi 0,358 ile 2,289 mg/kg arasında değişim göstermektedir. En düşük 3-MCPD-E miktarı, 180°C’de, 7,50 dk. süre ile yağ oranının 30 g/kg ve tuz oranının %5,00 olduğu işlemde belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. Merkezi tümleşik tasarım deneme desenine göre elde edilen 3-MCPD-E miktarına ilişkin sonuçlar

Deneme No	Sıcaklık (°C)	Süre (dk.)	Yağ Oranı (g/kg)	Tuz Oranı (%)	Deneyisel Miktar (mg/kg)	Tahmin Edilen Miktar (mg/kg)	Kalıntı	Sapma (%)
1	190	20,63	20,00	7,50	1,853	2,049	-0,20	-10,58
2	190	11,88	20,00	7,50	1,567	1,182	0,39	24,57
3	190	20,63	40,00	7,50	2,289	2,225	0,06	2,80
4	180	16,25	50,00	5,00	0,995	0,776	0,22	22,01
5	170	11,88	20,00	2,50	0,911	0,660	0,25	27,55
6	170	11,88	40,00	7,50	0,809	0,507	0,30	37,33
7	170	20,63	40,00	7,50	1,248	1,415	-0,17	-13,38
8	190	11,88	40,00	2,50	1,135	0,726	0,41	36,04
9	180	16,25	30,00	10,00	1,629	1,638	-0,01	-0,55
10	160	16,25	30,00	5,00	0,532	0,660	-0,13	-24,06
11	180	16,25	30,00	5,00	1,019	0,898	0,12	11,87
12	200	16,25	30,00	5,00	1,697	1,523	0,17	10,25
13	170	11,88	20,00	7,50	0,774	0,678	0,10	12,40
14	180	16,25	30,00	5,00	1,067	0,898	0,17	15,84
15	170	20,63	20,00	7,50	1,262	1,356	-0,09	-7,45
16	180	16,25	30,00	5,00	0,723	0,898	-0,18	-24,20
17	180	25,00	30,00	5,00	1,996	1,594	0,40	20,14
18	180	16,25	30,00	5,00	0,748	0,898	-0,15	-20,05
19	190	11,88	20,00	2,50	0,518	0,713	-0,20	-37,64
20	190	20,63	20,00	2,50	0,701	0,687	0,01	2,00
21	180	16,25	10,00	5,00	0,512	0,694	-0,18	-35,55
22	180	7,50	30,00	5,00	0,358	0,712	-0,35	-98,88
23	170	20,63	20,00	2,50	0,501	0,445	0,06	11,18
24	180	16,25	30,00	0,00	0,383	0,326	0,06	14,88
25	170	20,63	40,00	2,50	0,502	0,572	-0,07	-13,94
26	190	11,88	40,00	7,50	0,710	1,128	-0,42	-58,87
27	190	20,63	40,00	2,50	0,472	0,930	-0,46	-97,03
28	170	11,88	40,00	2,50	0,390	0,557	-0,17	-42,82
29	180	16,25	30,00	5,00	0,934	0,898	0,04	3,85

Kalıntı = Deneyisel miktar – Tahmin edilen miktar

Sapma (%) = (Deneyisel miktar – Tahmin edilen miktar / Deneyisel miktar) * 100

Yine aynı şekilde G-E için Çizelge 4.2’de görüldüğü üzere deneme planı, deneyisel G-E düzeyleri, modelden tahmin edilen G-E düzeyleri, kalıntı ve sapma değerleri ayrıntılı şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Merkezi tümleşik tasarım deneme desenine göre elde edilen G-E'nin deneysel sonuçları

Deneme No	Sıcaklık (°C)	Süre (dk.)	Yağ Oranı (g/kg)	Tuz Oranı (%)	Deneysel Miktar (mg/kg)	Tahmin Edilen Miktar (mg/kg)	Kalıntı	Sapma (%)
1	190	20,63	20,00	7,50	1,244	1,097	0,15	11,82
2	190	11,88	20,00	7,50	0,049	0,289	-0,24	-489,80
3	190	20,63	40,00	7,50	1,422	1,231	0,19	13,43
4	180	16,25	50,00	5,00	0,332	0,349	-0,02	-5,12
5	170	11,88	20,00	2,50	0,124	0,250	-0,13	-101,61
6	170	11,88	40,00	7,50	0,262	0,099	0,16	62,21
7	170	20,63	40,00	7,50	0,068	0,477	-0,41	-601,47
8	190	11,88	40,00	2,50	0,080	-0,068	0,15	185,00
9	180	16,25	30,00	10,00	0,573	0,583	-0,01	-1,75
10	160	16,25	30,00	5,00	0,091	-0,078	0,17	185,71
11	180	16,25	30,00	5,00	0,093	0,189	-0,10	-103,23
12	200	16,25	30,00	5,00	0,174	0,344	-0,17	-97,70
13	170	11,88	20,00	7,50	0,125	-0,045	0,17	136,00
14	180	16,25	30,00	5,00	0,384	0,189	0,20	50,78
15	170	20,63	20,00	7,50	0,241	0,325	-0,08	-34,85
16	180	16,25	30,00	5,00	0,238	0,189	0,05	20,59
17	180	25,00	30,00	5,00	1,292	1,127	0,17	12,77
18	180	16,25	30,00	5,00	0,178	0,189	-0,01	-6,18
19	190	11,88	20,00	2,50	0,264	-0,081	0,35	130,68
20	190	20,63	20,00	2,50	0,296	0,394	-0,10	-33,11
21	180	16,25	10,00	5,00	0,200	0,184	0,02	8,00
22	180	7,50	30,00	5,00	0,110	0,275	-0,17	-150,00
23	170	20,63	20,00	2,50	0,142	0,287	-0,15	-102,11
24	180	16,25	30,00	0,00	0,071	0,062	0,01	12,68
25	170	20,63	40,00	2,50	0,631	0,326	0,31	48,34
26	190	11,88	40,00	7,50	0,497	0,415	0,08	16,50
27	190	20,63	40,00	2,50	0,180	0,415	-0,24	-130,56
28	170	11,88	40,00	2,50	0,070	0,281	-0,21	-301,43
29	180	16,25	30,00	5,00	0,054	0,189	-0,14	-250,00

Kalıntı = Deneysel miktar – Tahmin edilen miktar

Sapma (%) = (Deneysel miktar – Tahmin edilen miktar /Deneysel miktar) * 100

Sonuçlar incelendiğinde, G-E düzeyi 0,049 mg/kg ile 1,422 mg/kg arasında değişim göstermiştir. En düşük G-E düzeyi, 190°C’de, 11,88 dk. süresince, yağ oranının 20 g/kg ve tuz oranın %7,50 olduğu işlemde belirlenmiştir.

4.1.1. Kızartma İşleminde Modelin Oluşturulması

Matematiksel model; kızartma işlemindeki bağımlı ve bağımsız değişkenlerin arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir. Bu model çoklu regresyon analizi ile oluşturulmuş ve bu oluşturulan modelde regresyon katsayıları ve ANOVA (tek yönlü varyans analizi) sonuçları Çizelge 4.3 ve 4.4'te gösterilmiştir. Regresyon katsayısı (R^2), bir modeldeki her açıklayıcı varyasyonla ilişkili değerdir yani açıklayıcı varyasyonun toplam varyasyona oranı (Cornell, 1987) olarak tanımlanmıştır. R^2 ; matematiksel olarak 0 ve 1 arasında değişim göstermektedir. Modelin tutarlılığı R^2 'nin 1'e yaklaşması ile artmaktadır (Liu vd., 2008). Kızartma yağının 3-MCPD-E düzeyinin modeldeki verilerine göre R^2 değerinin 0,80 olması varyasyonun önemli bir kısmının model tarafından açıklandığını göstermektedir. Yine aynı şekilde kızartma yağının G-E düzeyinin modeldeki verilerine göre R^2 değerinin 0,77 olması varyasyonun bir kısmının model tarafından açıklandığını göstermektedir. Ayarlanmış R^2 ; modelin performansını değerlendirmede önemli bir parametre olup 3-MCPD-E modelinde 0,60 bulunurken; G-E'e ait modelde 0,54 olarak bulunmuştur. Modelin uygulanabilir olması ve optimizasyon için kullanılabilirliği R^2 ve ayarlanmış R^2 değerlerine bağlıdır. Bununla birlikte bu değerlerin deneysel tahmininin yüksek olmasının yanında ikinci dereceden model ile uyumunun yüksekliğini de göstermektedir. Modelden elde edilen sonuçların yorumlanmasının tespiti için dikkate alınan uyum eksikliği (lack of fit) değeri istatistiki açıdan önemsiz ($p>0,05$) bulunmuştur. 3-MCPD-E'de kuadratik modelin F değeri düşük bir değer ile ($p<0,0001$) 4,05 bulunurken, aynı durum G-E için 3,32 olarak bulunmuş ve bu durum her iki modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Elde edilen verilerin ortalamaya olan uzaklıklarının ölçüsü varyasyon katsayısı (C.V.) olarak açıklanmaktadır ve varyasyon katsayısının küçük değerlerde olması beklenmektedir.

Çizelge 4.3. Kızartma yağında 3-MCPD-E'ye ilişkin yanıt yüzey metoduna ait istatistiki analiz sonuçları ve model katsayıları

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F-değeri	p-değeri
Model	6,23	14	0,44	4,05	0,0066
Sıcaklık, A	1,12	1	1,12	10,17	0,0066
Süre, B	1,17	1	1,17	10,61	0,0057
Yağ, C	0,007828	1	0,007828	0,071	0,7933
Tuz, D	2,58	1	2,58	23,51	0,0003
AB	0,036	1	0,036	0,33	0,5776
AC	0,014	1	0,014	0,12	0,7301
AD	0,20	1	0,20	1,86	0,1944
BC	0,053	1	0,053	0,48	0,4996
BD	0,80	1	0,80	7,25	0,0175
CD	0,004568	1	0,004568	0,042	0,8413
A ²	0,060	1	0,060	0,55	0,4711
B ²	0,11	1	0,11	0,96	0,3446
C ²	0,046	1	0,046	0,42	0,5280
D ²	0,011	1	0,011	0,10	0,7519
Kalıntı	1,54	14	0,11		
Uyum Eksikliği	1,44	10	0,14	5,90	0,0510
Hata	0,098	4	0,024		
Toplam	7,76	28			
Standart Sapma	0,33	Ort.= 0,97	R ² =0.8020	Ayarlanmış R ²	0.6040
Hassasiyet	7,97			Tahmin edilen R ²	-0,0874

A: Sıcaklık, B: Süre, C: Yağ, D: Tuz

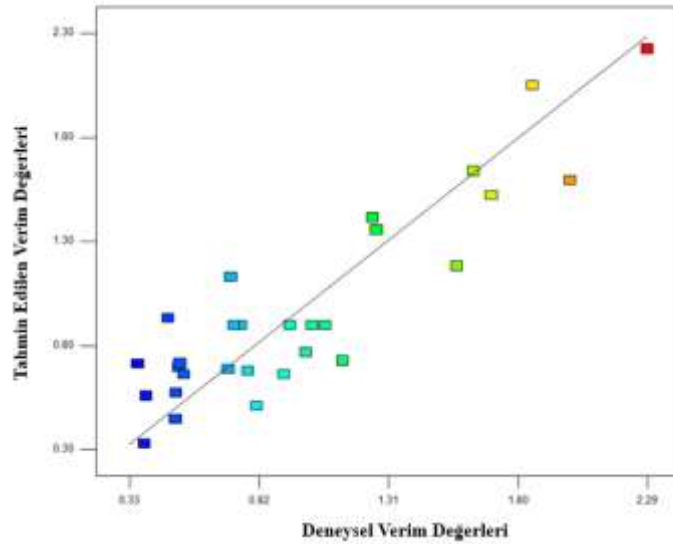
C.V.'nin %34,04 çıkması, elde edilen 3-MCPD-E modelin yeniden uygulanabilir olduğunu göstermektedir. 3-MCPD-E modelinin hassasiyeti 7,97 düzeyinde çıkmıştır. Bu hassasiyet değeri elde edilen modelin ortalama bir hassasiyete sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte uyumsuzluğun anlamsız olduğu hata analizi sonuçları ile belirlenmiştir ($p>0,05$). Tüm bu parametreler doğrultusunda elde ettiğimiz model kızartma işleminin yorumlanabilirliği açısından uygunluk göstermektedir.

3-MCPD-E miktarı üzerinde asıl etkili bağımsız değişkenin tuz olduğu ($p<0,005$) Çizelge 4.3.'de görülmektedir.

Aşağıda yer alan denklem 3-MCPD-E (Y) için ikinci dereceden regresyon modelini temsil etmektedir. Denklemde A sıcaklık, B süre, C yağ oranı ve D tuz oranını temsil etmektedir.

$$Y = 22,67538 - 0,20078*A - 0,39338*B - 0,043360*C - 1,02649*D + 0,00107966*AB + 0,000291575*AC + 0,00451611*AD + 0,00131222*BC + 0,020399*BD + 0,000675901*CD + 0,000481882*A^2 + 0,00332465*B^2 - 0,000421021*C^2 + 0,00335549*D^2$$

Yukarıdaki denklem doğrultusunda Şekil 4.1’de tahminlenen veriler ve deneysel veriler arasındaki ilişki gösterilmektedir. Tahmin edilen veriler ve deneysel veriler arasında genel olarak bir uyum söz konusudur.



Şekil 4.1. Kızartma işleminde deneysel ve tahminlenen 3-MCPD-E verilerinin karşılaştırılması

Çizelge 4.4. Kızartma yağında G-E'ye ilişkin yanıt yüzey metoduna ait istatistiki analiz sonuçları ve model katsayıları

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F-değeri	p-değeri
Model	3,04	14	0,22	3,32	0,0160
Sıcaklık, A	0,27	1	0,27	1,09	0,0626
Süre, B	1,09	1	1,09	16,68	0,0011
Yağ, C	0,041	1	0,041	0,62	0,4424
Tuz, D	0,41	1	0,41	6,22	0,0258
AB	0,19	1	0,19	2,94	0,1085
AC	0,0003375	1	0,0003375	0,005168	0,9437
AD	0,44	1	0,44	6,78	0,0208
BC	0,00006282	1	0,00006282	0,0009620	0,9757
BD	0,11	1	0,11	1,70	0,2130
CD	0,013	1	0,013	0,20	0,6634
A ²	0,005226	1	0,005	0,080	0,7814
B ²	0,42	1	0,42	6,50	0,0232
C ²	0,009525	1	0,009525	0,15	0,7082
D ²	0,029	1	0,029	0,44	0,5185
Kalıntı	0,91	14	0,065		
Uyum Eksikliği	0,85	10	0,085	5,00	0,0675
Hata	0,068	4	0,017		
Toplam	3,95	28			
Standart Sapma	0,26	Ort.= 0,33	R ² = 0,77	Ayarlanmış R ²	0,5371
Hassasiyet	7,14			Tahmin edilen R ²	-0,2613

A: Sıcaklık, B: Süre, C: Yağ, D: Tuz

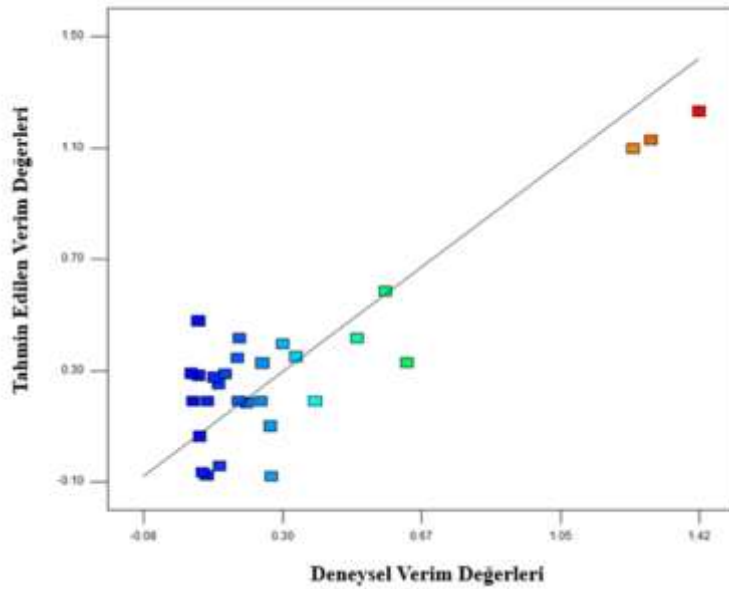
C.V.'nin %78,13 çıkması, elde edilen G-E modelin yeniden uygulanabilir olduğunu göstermektedir. G-E modelinin hassasiyeti 7,14 düzeyinde çıkmıştır. Bu hassasiyet değeri elde edilen modelin ortalama bir hassasiyete sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte uyumsuzluğun anlamsız olduğu hata analizi sonuçları ile belirlenmiştir ($p>0,05$). Tüm bu parametreler doğrultusunda elde ettiğimiz model kızartma işleminin yorumlanabilirliğine uygun bulunmuştur.

G-E miktarı üzerine asıl etki eden bağımsız değişkenin süre olduğu ($p<0,005$) Çizelge 4.4.'de görülmektedir.

Aşağıda yer alan denklem G-E (Y) için ikinci dereceden regresyon modelini temsil etmektedir. Denklemde A sıcaklık, B süre, C yağ oranı ve D tuz oranını temsil etmektedir.

$$Y = 8,45955 - 0,010919*A - 0,65853*B - 0,00552289*C - 1,35644*D + 0,00250340*AB - 0,0000459278*AC + 0,00665215*AD + 0,0000452907*BC + 0,00762077*BD + 0,00113622*CD - 0,000141925*A^2 + 0,00668133*B^2 + 0,000191605*C^2 + 0,00531681*D^2$$

Yukarıdaki denklem doğrultusunda Şekilde 4.2.'de tahminlenen veriler ve deneysel veriler arasındaki ilişki gösterilmektedir. Tahmin edilen veriler ve deneysel veriler arasında genel olarak bir uyum söz konusudur.

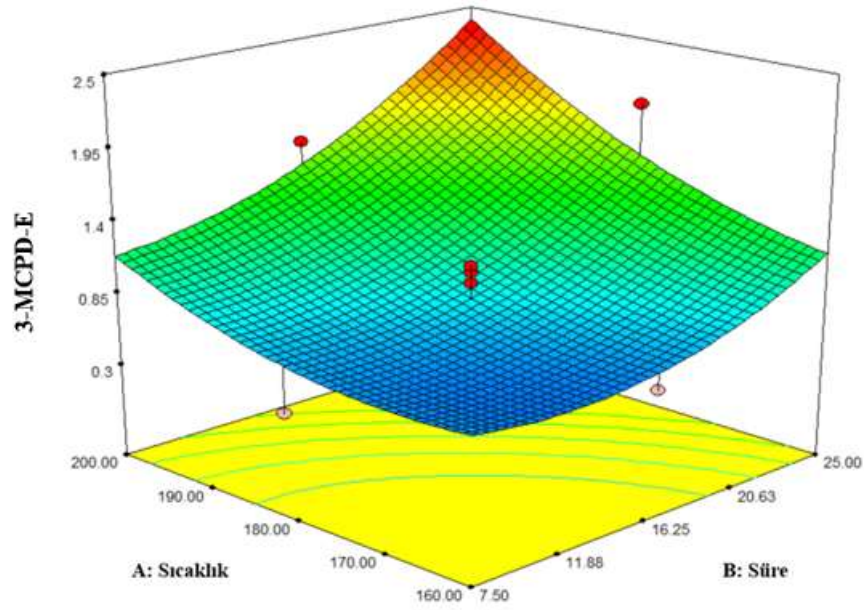


Şekil 4.2. Kızartma işleminde deneysel ve tahminlenen G-E verilerinin karşılaştırılması

3-MCPD-E ve G-E miktarlarının bağımsız değişkenler tarafından nasıl etkilendiğinin görsel olarak incelenmesi için model tarafından üç boyutlu yanıt yüzey grafikleri tasarlanmıştır. Yanıt yüzey grafiklerinin deneysel tasarımında merkez noktada iki değişken sabit tutulurken diğer iki değişkenin ise kombinasyonları kullanılmıştır.

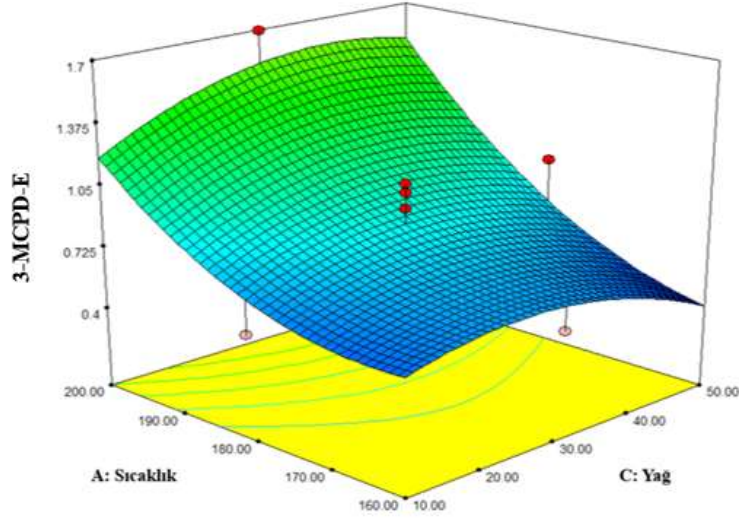
Yağ (30 g/kg) ve tuz oranı (%5) orta noktada sabitlenmiş durumayken kızartma işleminin sıcaklığı, süresi ve bunların karşılıklı etkileşimlerinin 3-MCPD-E üzerine etkisini temsil eden yanıt yüzey yöntemi grafiği Şekil 4.3'de gösterilmektedir. Üç boyutlu grafiği ele aldığımızda sıcaklık ve sürenin etkisi ile 3-MCPD-E değeri artıyor gibi görünse de Çizelge 4.3 incelendiğinde bu değişimin istatistiki olarak anlamlı olmadığı görülmektedir. Wong vd. (2017a) tarafından yapılan çalışmaya göre 3-MCPD esterlerinin sıcaklığa karşı dayanıksız

olduğu ve kızartma süresinin artmasıyla beraber 3-MCPD-E miktarında azalma olduğu bildirilmiştir. Dingel ve Matissek (2015) yapmış oldukları bir çalışmada, patates cipslerinin ayçiçek yağında kızartılması esnasında oluşan 3-MCPD ve G-E'leri incelemişlerdir. Yapılan analizler sonucunda kızartma işlemi esnasında oluşan 3-MCPD-E ve G-E'lerin düzeylerinde sıcaklık ve sürenin önemli düzeyde bir değişikliğe neden olmadığı vurgulanmıştır.



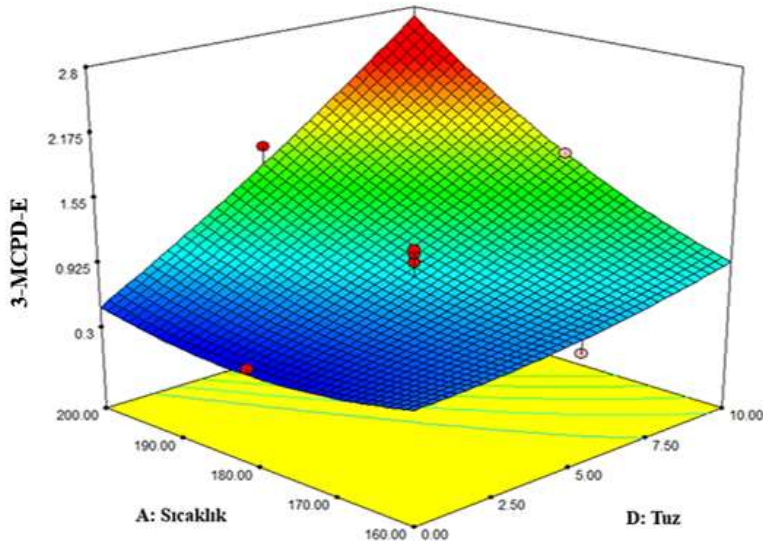
Şekil 4.3. Kızartma işleminde 3-MCPD-E düzeyi için sabit yağ ve tuz oranında yanıt yüzey grafiği

Şekil 4.4'te süre (16,25 dk.) ve tuz oranı (%5) orta noktada sabitlenmiş durumdayken, kızartma işleminin sıcaklığı, yağ oranı ve bunların karşılıklı etkileşimlerinin 3-MCPD-E'ye etkisini gösteren yanıt yüzey yöntemi grafiği gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde 3-MCPD-E'nin sıcaklık ile birlikte artış gösterdiği görülse de bunun kızartma işlemi üzerine istatistiki olarak etkisi görülmemektedir. Zelinkova vd. (2009) yapmış oldukları çalışmada, patates örneklerini farklı sıcaklık ve sürelerde (158°C'de 2 dk., 180°C'de 3 dk. ve 170°C'de 2 dk. (patates cipsi) kızartma işlemine tabi tutmuşlardır. Patatesler palm yağı kullanılarak kızartılmış ve 3-MCPD-E oluşumları incelenmiştir. Sıcaklık arttıkça 3-MCPD-E'nin miktarı da artmıştır. Kızartılan patates cipslerinde 3-MCPD-E düzeyi 229-1008 µg/kg düzeyinde bulunmuştur. Kızartma yağına yapılan analizler sonucunda 3-MCPD-E düzeyi 654 ile 1920 µg/kg arasında tespit edilmiştir. Bu çalışma sonucunda 3-MCPD-E'lerin oluşumunun ana kaynağının kızartma yağı olduğu belirlenmiştir.



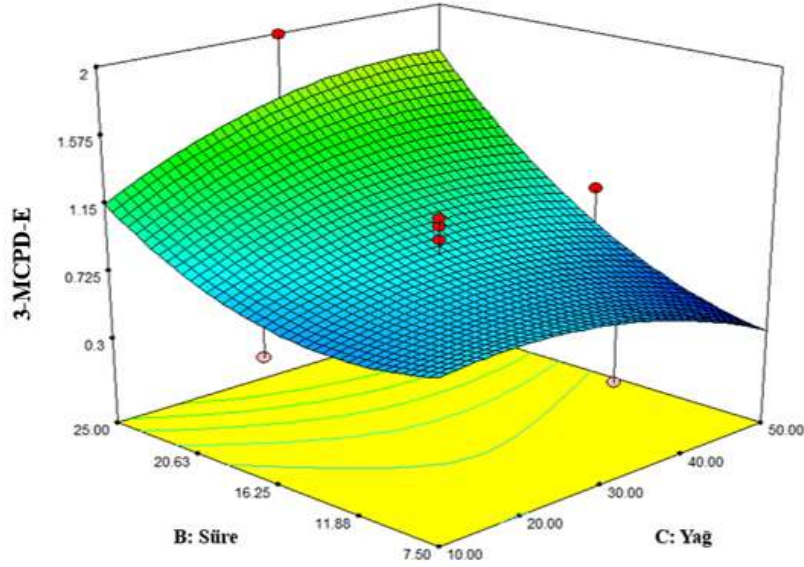
Şekil 4.4. Kızartma işleminde 3-MCPD-E düzeyi için sabit süre ve tuz oranında yanıt yüzey grafiği

Süre (16,25 dk.) ve yağ oranı (30 g/kg) orta noktada sabitlenmiş durumdayken, kızartma işleminin sıcaklığı, tuz oranı ve bunların karşılıklı etkileşimlerinin 3-MCPD-E'ye etkisini temsil eden yanıt yüzey yöntemi grafiği Şekil 4.5'te gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde tuz oranının 0'dan %10'a çıktıkça 3-MCPD-E miktarında belirgin bir artış olmuştur ve bu değişim istatistiki olarak anlamlı (Çizelge 4.3) bulunmuştur. Sıcaklığın artışı tuz oranının 3-MCPD-E üzerindeki etkisini değiştirmemiştir.



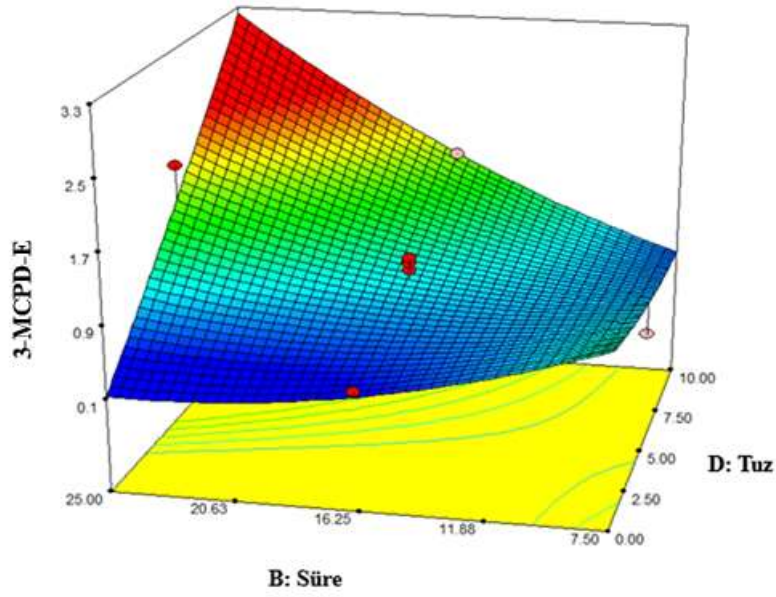
Şekil 4.5. Kızartma işleminde 3-MCPD-E düzeyi için sabit süre ve yağ oranında yanıt yüzey grafiği

Şekil 4.6'da sıcaklık (180°C) ve tuz oranı (%5) orta noktada sabitlenmiş durumdayken, kızartma işleminin süresi, yağ oranı ve bunların karşılıklı etkileşimlerinin 3-MCPD-E'ye etkisini temsil eden yanıt yüzey yöntemi grafiği gösterilmektedir. Bu grafik incelendiğinde özellikle kızartma işlem süresindeki artışın 3-MCPD-E miktarını arttırdığı düşünülse de Çizelge 4.3'teki veriler incelendiğinde bu etkinin istatistiki olarak anlamlı olmadığı görülmektedir.



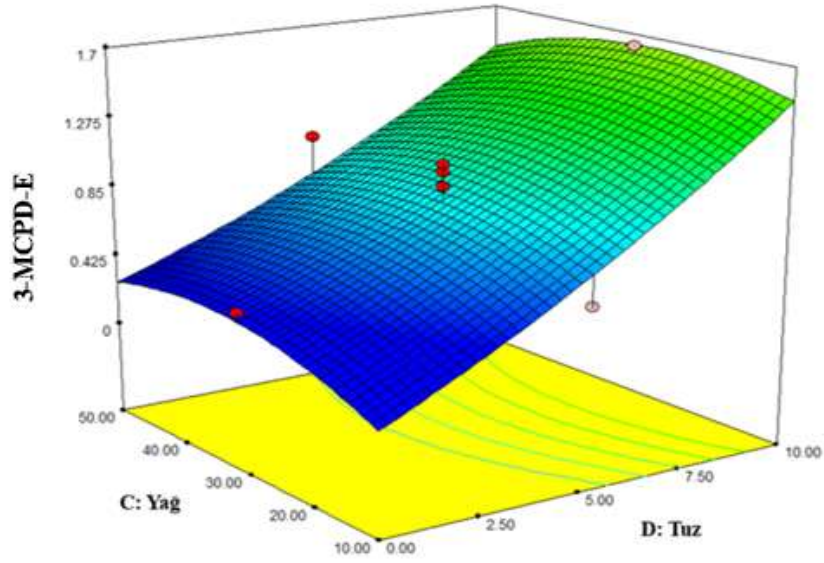
Şekil 4.6. Kızartma işleminde 3-MCPD-E düzeyi için sabit sıcaklık ve tuz oranında yanıt yüzey grafiği

Sıcaklık (180°C) ve yağ oranı (30 g/kg) orta noktada sabitlenmiş durumdayken, kızartma işleminin süresi, tuz oranı ve bunların karşılıklı etkileşimlerinin 3-MCPD-E'ye etkisini temsil eden yanıt yüzey yöntemi grafiği Şekil 4.7'de gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde, 3-MCPD-E miktarının sürenin uzamasına bağlı olarak azaldığı ve tuz oranının artışıyla birlikte arttığı görülmektedir. Çizelge 4.3 incelendiğinde tuz bağımsız değişkeninin kızartma işlemi üzerine etkisinin istatistiki açıdan anlamlı olduğu görülmektedir. Wong vd. (2017b) tarafından yapılan çalışmada 5 gün süren tekrarlı kızartma işlemleri süresince kızartma süresinin artmasıyla birlikte 3-MCPD-E'lerinin miktarlarının azaldığı saptanmıştır. Zhou vd. (2014) palm yağında yaptıkları çalışmaya göre kızartma süresinin 16 saatten fazla sürmesi nedeniyle 3-MCPD miktarlarında azalma gözlemlenmiştir.



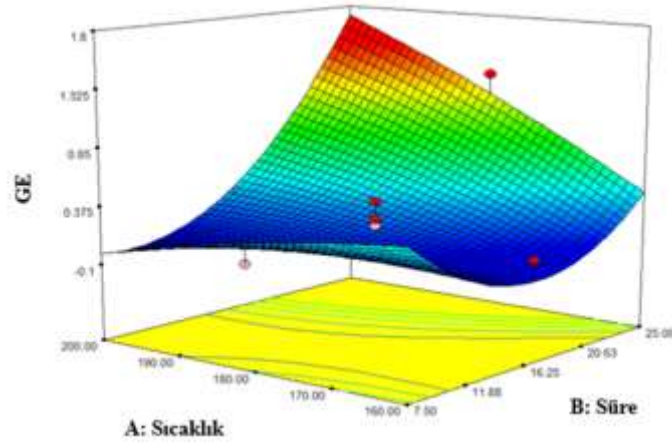
Şekil 4.7. Kızartma işleminde 3-MCPD-E düzeyi için sabit sıcaklık ve yağ oranında yanıt yüzey grafiği

Şekil 4.8’de sıcaklık (180°C) ve süre (16,25 dk.) orta noktada sabitlenmiş durumdayken, kızartma işleminin yağ oranı, tuz oranı ve bunların karşılıklı etkileşimlerinin 3-MCPD-E’ye etkisini temsil eden yanıt yüzey yöntemi grafiği gösterilmektedir. Bu grafik incelendiğinde kızartma işleminin yağ oranındaki değişiminin 3-MCPD-E üzerine etkisi olmadığı görülmektedir. Tuz oranının artışıyla birlikte 3-MCPD-E miktarında belirgin bir artış görülmekte ve bu değişimin istatistiki açıdan anlamlı olduğu Çizelge 4.3.’te belirtilmektedir. Wong vd. (2017a) yapmış oldukları çalışmada; tavuk göğsünün derin yağda palm yağı ile kızartılması ile bazı parametrelerin (sıcaklık, süre ve NaCl) 3-MCPD-E ve G-E’lerin oluşumu üzerine etkisi saptanmıştır. Yapılan analizler neticesinde kızartma işleminin süresinin uzamasıyla birlikte 3-MCPD ve G-E’lerin düzeyinde azalma olduğu tespit edilmiştir. NaCl oranının artmasıyla birlikte (%0’dan %5’e) 3-MCPD-E miktarı da artmıştır. Kızartma işleminin uygulanmasında kızartma yağına NaCl eklenmesinin glisidil ester oluşumuna etkisi anlamlı bulunmamıştır.



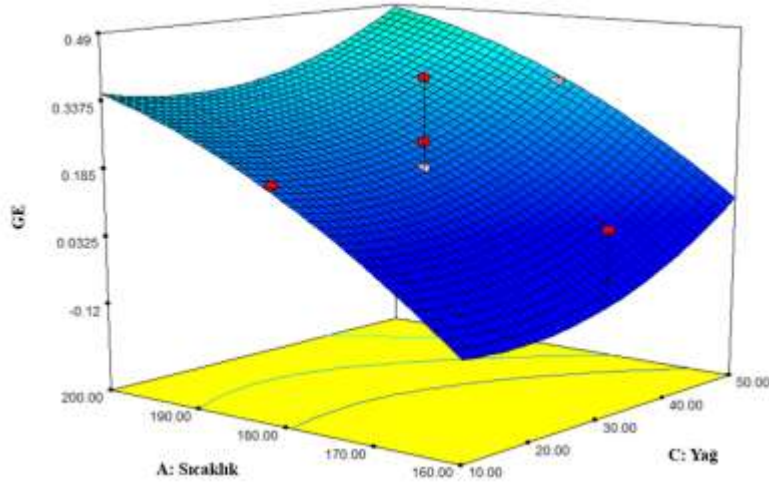
Şekil 4.8. Kızartma işleminde 3-MCPD-E düzeyi için sabit sıcaklık ve sürede yanıt yüzey grafiği

Yağ (30 g/kg) ve tuz oranı (%5) orta noktada sabitlenmiş durumayken, kızartma işleminin sıcaklığı, süresi ve bunların karşılıklı etkileşimlerinin G-E'ye etkisini temsil eden yanıt yüzey yöntemi grafiği Şekil 4.9'da gösterildiği gibidir. Grafiği ele aldığımızda özellikle belirli süreden sonra sıcaklıktaki artış ile birlikte G-E miktarında önemli bir artış gözlenmiştir. Çizelge 4.4. incelendiğinde süre bağımsız değişkeninin etkisi G-E miktarı üzerinde istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur. Aniołowska ve Kita (2016) tarafından yapılan çalışmada palm yağında günde 8 saat olmak üzere toplamda 5 gün tekrarlı kızartma işlemi uygulanmış ve kızartma sıcaklık ve süresinin artmasıyla birlikte glisidil esterlerinin miktarının azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca G-E'deki azalmanın yağın degradasyon derecesiyle doğrudan ilişkili olduğu belirtilmiştir. Aynı zamanda G-E'lerdeki değişimi etkileyen ana faktör kızartma süresi olurken, kızartma sıcaklığının daha az etkili olduğu rapor edilmiştir.



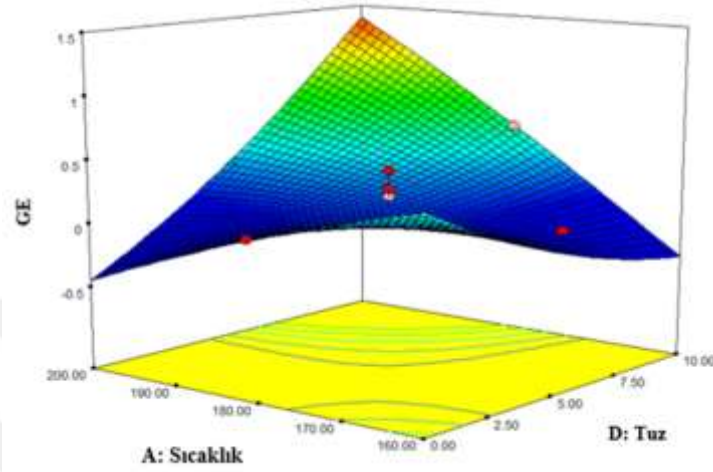
Şekil 4.9. Kızartma işleminde G-E düzeyi için sabit yağ ve tuz oranında yanıt yüzey grafiği

Şekil 4.10'da süre (16,25 dk.) ve tuz oranı (%5) orta noktada sabitlenmiş durumdayken, kızartma işleminin sıcaklığı, yağ oranı ve bunların karşılıklı etkileşimlerinin G-E'ye etkisini temsil eden yanıt yüzey yöntemi grafiği gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde G-E'nin özellikle sıcaklıktaki artış ile birlikte artış gösterdiği düşünülse de Çizelge 4.4'e bakıldığında bu faktörlerin etkisi G-E miktarı üzerinde istatistiki olarak anlamlı bulunmamıştır.



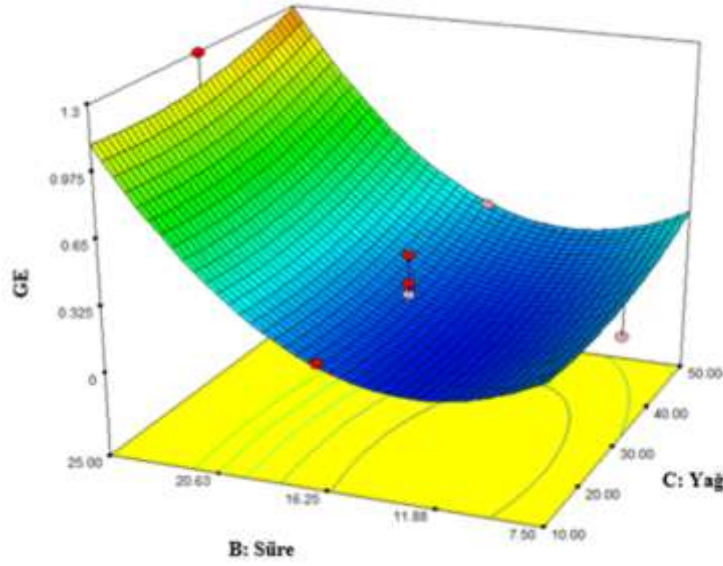
Şekil 4.10. Kızartma işleminde G-E düzeyi için sabit süre ve tuz oranında yanıt yüzey grafiği

Süre (16,25 dk.) ve yağ oranı (30 g/kg) orta noktada sabitlenmiş durumdayken, kızartma işleminin sıcaklığı, tuz oranı ve bunların karşılıklı etkileşimlerinin G-E'ye etkisini temsil eden yanıt yüzey grafiği Şekil 4.11'da gösterildiği gibidir. Grafik incelendiğinde düşük sıcaklıklarda tuz oranındaki artış ile birlikte G-E miktarında düşüş gözlenirken; sıcaklık artışı ile birlikte aynı değişim gözlenmemektedir.



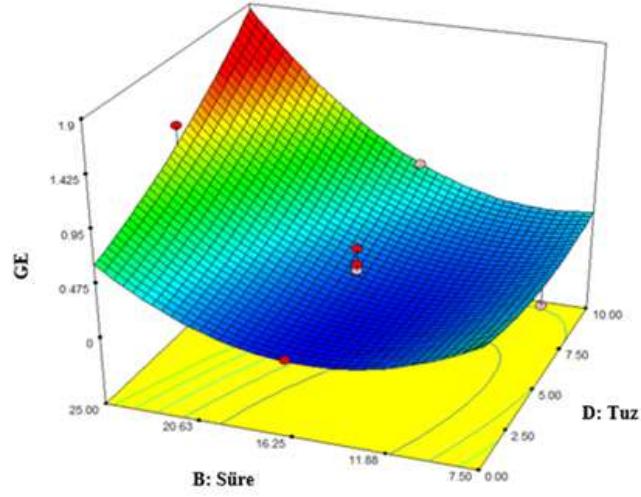
Şekil 4.11. Kızartma işleminde G-E düzeyi için sabit süre ve yağ oranında yanıt yüzey grafiği

Şekil 4.12'de sıcaklık (180°C) ve tuz oranı (%5) orta noktada sabitlenmiş durumdayken, kızartma işleminin süresi, yağ oranı ve bunların karşılıklı etkileşimlerinin G-E'ye etkisini temsil eden yanıt yüzey grafiği gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde G-E'nin süre ve yağ oranıyla birlikte artış gösterdiği görülmektedir. Çizelge 4.4'e bakıldığında süre değişkeninin G-E miktarı üzerine etkisinin istatistiki açıdan anlamlı olduğu belirlenmiştir. Hrnçirik ve van Duijn (2011) yapmış oldukları bir çalışmada yüksek sıcaklıkta (230°C) koku giderme işlemine tabi tutulan palm yağında yüksek oranda glisidil esterleri (3,8 mg/kg) bulunmuş ve koku giderme işleminin 230°C'de sürenin uzatılmasıyla glisidil esterlerinin daha da arttığı tespit edilmiştir.



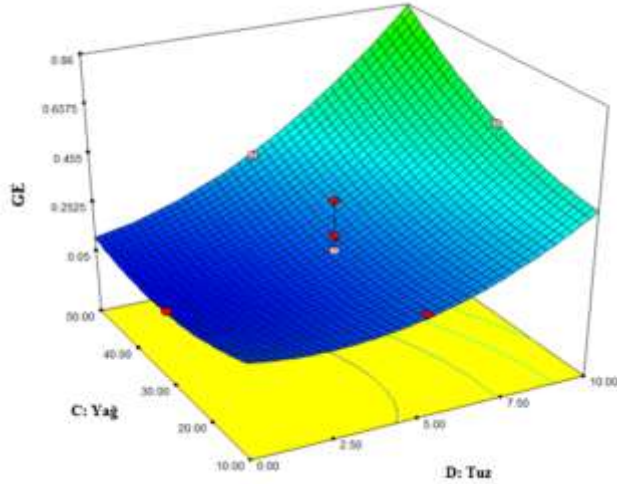
Şekil 4.12. Kızartma işleminde G-E düzeyi için sabit sıcaklık ve tuz oranında yanıt yüzey grafiği

Sıcaklık (180°C) ve yağ oranı (30 g/kg) orta noktada sabitlenmiş durumdayken, kızartma işleminin süresi, tuz oranı ve bunların karşılıklı etkileşimlerinin G-E'ye etkisini temsil eden yanıt yüzey grafiği Şekil 4.13'de gösterildiği gibidir. Arslan vd. (2018) yaptıkları çalışmada kızartma işlemi süresince fındık yağlarının G-E miktarlarının 0.04-0,14 mg/kg aralığında değiştiğini, kızartma süresinin artmasıyla birlikte glisidil esterlerinin miktarının genel olarak azaldığını bildirmişlerdir. Aniołowska ve Kita (2015) yapmış oldukları bir çalışmada, patates kızartması esnasında kızartma yağının bozulmasıyla birlikte G-E'lerde meydana gelen değişimi incelemişlerdir. G-E'leri; rafine edilmemiş palm yağında 25 mg/kg düzeyinde bulunurken bu oran kolza yağında 0,8 mg/kg olarak belirlenmiştir. Kızartma işlemine uygulanan sürenin uzatılmasıyla birlikte kolza yağında glisidil esterleri %47 oranında azalmıştır.



Şekil 4.13. Kızartma işleminde G-E düzeyi için sabit sıcaklık ve yağ oranında yanıt yüzey grafiği

Şekil 4.14’de sıcaklık (180°C) ve süre (16,25 dk.) orta noktada sabitlenmiş durumdayken, kızartma işleminin yağ oranı, tuz oranı ve bunların karşılıklı etkileşimlerinin G-E’ye etkisini temsil eden yanıt yüzey grafiği gösterilmektedir. Bu grafik incelendiğinde her ne kadar yağ ve tuz oranı G-E miktarını etkiliyor gibi düşünülse de Çizelge 4.4 incelendiğinde bu değişkenlerin etkisinin istatistiki olarak önemli olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.14. Kızartma işleminde G-E düzeyi için sabit sıcaklık ve sürede yanıt yüzey grafiği

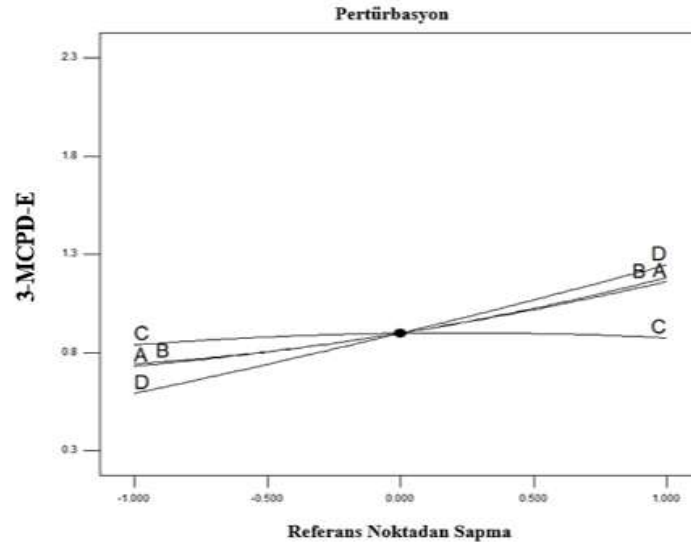
Kızartma işlemleri süresince G-E’lerin miktarları 3-MCPD’E den daha düşük bulunmuş, ayrıca G-E miktarlarındaki değişim ile 3-MCPD-E miktarlarındaki değişim arasında anlamlı bir korelasyon tespit edilmemiştir. Bu durumun nedeninin 3-MCPD ve

glisidil esterlerinin farklı oluşum mekanizmalarından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir (Wong, 2017a).

Literatürde, kızartma sıcaklık ve süresinin artmasıyla her iki kontaminantın da artış gösterdiği ancak sıcaklık ve sürenin daha da artması durumunda bu kontaminantların degrade olabildiği tespit edilmiştir (Goh vd., 2021). Ancak, bunun tersi sonuçların elde edildiği çalışmalarda rapor edilmiştir (Wong vd., 2017).

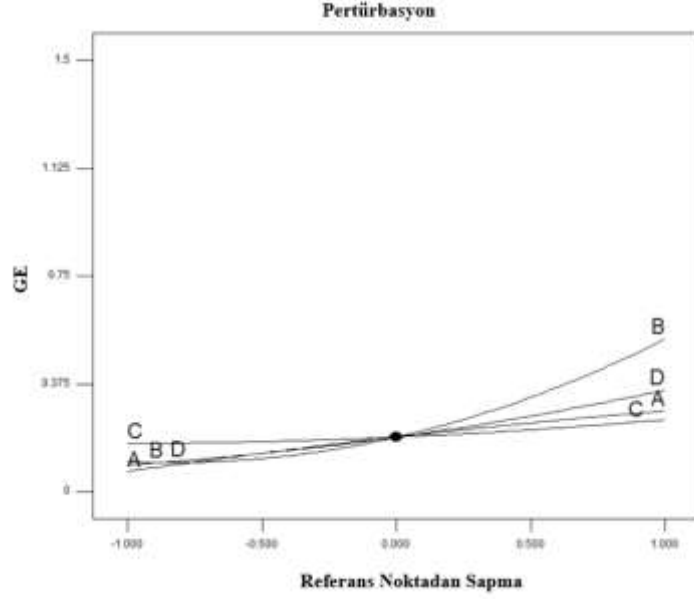
Kızartma sırasında 3-MCPD-E ve G-E oluşumuna etki eden faktörler üzerine çalışmalar yapılmış olsa da, bu bileşiklerin kızartma sırasında değişimi üzerine ortaya net bir sonuç konulabilmiş değildir (Yuan vd., 2022).

Bu tez çalışmasında uygulanan bütün değişkenlerin 3-MCPD-E düzeyi üzerindeki etkisini daha iyi görebilmek için belirlenen bir noktada karşılaştırılması için tasarlanan pertürbasyon grafiği Şekil 4.15’de gösterilmektedir. Modelin tuz oranına karşı daha duyarlı ($p<0,0005$) olduğu belirlenmiştir. Kızartma işleminde 3-MCPD-E düzeyi üzerinde sıcaklık, süre ve yağ oranının etkisi daha az görülmektedir.



Şekil 4.15. Kızartma işlemine ait modelin pertürbasyon grafiği (A: Sıcaklık, B: Süre, C: Yağ oranı, D: Tuz oranı)

Şekil 4.16’da gösterilen pertürbasyon grafiği ile çalışmada kullanılan tüm değişkenlerin G-E üzerindeki etkisinin sabit bir nokta belirlenerek karşılaştırılmasıyla daha iyi görülmesi sağlanmaktadır. Modelin süre değişkenine karşı daha hassas olduğu tespit edilmiştir. Kızartma işleminde G-E düzeyi üzerinde sıcaklık, yağ oranı ve tuz oranının etkisi daha az görülmektedir.



Şekil 4.16. Kızartma işlemine ait modelin pertürbasyon grafiği (A: Sıcaklık, B: Süre, C: Yağ oranı, D: Tuz oranı)

4.1.2. Kızartma İşlemi Koşullarının Optimizasyonu ve Deneysel Doğrulama

Sıcak havada kızartma teknolojisiyle kızartılan patateslerde 3-MCPD-E ve G-E oluşumunun incelendiği bu çalışmada, optimizasyon işlemi en düşük 3-MCPD-E ve G-E hedeflenerek gerçekleştirilmiştir. Kızartma işleminin optimizasyonu için; sıcaklık (160-200), süre (7,5-25 dk.), yağ (10-50 g/kg) oranı ve tuz (%0-10) oranı arasında değişen değerler sonucunda belirlenmiştir (Çizelge 3.1). Design Expert 7.0 paket programı kullanılarak “desirability” fonksiyonu yaklaşımı ile optimum nokta için birbirine yakın farklı çözümler hesaplanmıştır. İşlem koşulları ve optimum noktadan elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde optimum nokta olarak, programın belirlediği bu çözümlerden en uygun faktör seviyeleri seçilmiştir. Bu faktör seviyeleri sıcaklık 181,76°C sıcaklık, 15,59 dk. süre, 44,06 g/kg yağ oranı ve %0,11 tuz oranı olarak belirlenmiştir. Optimum noktada belirlenen 3-MCPD-E düzeyi 0,35 mg/kg ve G-E düzeyi 0,03 mg/kg’dır. Deneysel doğrulama için optimum koşullarda üç deneme yapılmış ve bu üç tekrar sonunda $0,35 \pm 0,04$ mg/kg düzeyinde bir 3-MCPD-E bulunurken; $0,03 \pm 0,00$ düzeyinde bir G-E tespit edilmiştir.

4.2. Sıcak Havada Kızartma ve Derin Yağda Kızartma İşleminin Kıyaslanması

Sıcak havada kızartma işlemi ile derin yağda kızartma işlemini kıyaslamak amacı ile patates örnekleri optimum sıcak havada kızartma koşullarına en yakın koşullarda (180°C sıcaklık, 3,50 dk. süre, 2 L yağ ve %0,11 tuz oranı) derin yağda kızartma işlemi ile kızartılmıştır. İşlem görmemiş rafine ayçiçek yağının, sıcak havada kızartma yağının ve derin yağda kızartma yağının temel kalite parametrelerine ait analiz sonuçları Çizelge 4.5'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.5. İşlem görmemiş, sıcak havada ve derin yağda kızartılmış ayçiçek yağlarının özellikleri

Analiz	İşlem Görmemiş Rafine Ayçiçek Yağı	Sıcak Havada Kızartma Yağı	Derin Yağda Kızartma Yağı
3-MCPD-E (mg/kg)	0,28±0,03 ^a	0,35±0,05 ^{ab}	0,39±0,04 ^b
GE (mg/kg)	0,09±0,00 ^a	0,03±0,00 ^b	0,11±0,01 ^c
Peroksit değeri (meq O ₂ /kg yağ)	1,48±0,03 ^a	6,19±0,22 ^b	6,72±0,04 ^c
FRİ (Renk İndeksi)	0,05±0,01 ^a	2,72±0,32 ^b	0,12±0,01 ^a
α-tokoferol (mg/kg)	58,22±0,62 ^a	29,74±0,99 ^b	6,45±0,06 ^c
C16:0 (%)	5,66±0,12 ^a	5,58±0,09 ^a	5,52±0,07 ^a
C16:1 (%)	0,55±0,07 ^a	0,54±0,04 ^a	0,61±0,05 ^a
C17:0 (%)	0,01±0,00 ^a	0,02±0,00 ^a	0,01±0,00 ^a
C18:0 (%)	2,42±0,60 ^a	2,20±0,10 ^a	2,12±0,06 ^a
C18:1 (%)	23,23±0,34 ^a	23,20±0,30 ^a	23,10±0,04 ^a
C18:2 (%)	68,59±0,52 ^a	68,52±0,42 ^a	68,64±0,10 ^a

Aynı satırdaki küçük harfler (a-c) değerler arasındaki farkın istatistiki olarak önemli olduğunu ifade etmektedir ($p<0,05$).

İşlem görmemiş ayçiçek yağında 3-MCPD-E içeriği 0,28 mg/kg iken; sıcak havada kızartma sonucu yağda bu değer 0,35 ve derin yağda kızartma sonucu yağda bu değer 0,39 mg/kg'a ulaşmıştır. Her iki kızartma yönteminin yağda 3-MCPD-E içeriğini istatistiki olarak anlamlı düzeyde artırdığı görülmektedir. G-E düzeyi ise ısıtıl işlem görmemiş yağda 0,09 mg/kg düzeyindeyken; sıcak havada kızartma yöntemi ile 0,03 mg/kg düzeyine düşmüştür. Bu durum yüksek sıcaklıklarda G-E'in degrade olmasıyla açıklanabilir. Derin yağda kızartma işlemi sonunda G-E düzeyi 0,11 mg/kg olarak belirlenmiştir.

İşlem görmemiş rafine ayçiçek yağının; peroksit sayısı 1,48 meq O₂/kg yağ iken sıcak havada ve derin yağda kızartma işlemleri ile bu değerin arttığı ve sırasıyla 6,19 ve 6,72 meq O₂/kg yağ değerlerini aldığı görülmüştür. Yağların fotometrik renk indeksi ise işlem görmemiş yağda 0,05 iken; sıcak havada kızartma işlemi ile anlamlı olarak yükseldiği ve 2,72 değerine ulaştığı görülmektedir.

Yağlarda bulunan tokoferoller, antioksidan özellikleri ile öne çıkan bileşenlerdir. İşlem görmemiş rafine ayçiçek yağının α -tokoferol içeriği 58,22 mg/kg olarak belirlenirken, sıcak havada kızartılan patateslerden elde edilen yağın α -tokoferol içeriği 29,74 ve derin yağda kızartılan patateslerden elde edilen yağın α -tokoferol içeriği ise 6,45 mg/kg olarak belirlenmiştir ve her üç yağ grubunda da istatistiki açıdan önemli farklılıklar bulunmuştur. Özellikle α -tokoferol, derin yağda kızartma işleminde işlem görmemiş rafine ayçiçek yağına göre oldukça düştüğü gözlemlenmiştir. Yıldırım (2024) yapmış olduğu bir çalışmada sıcak hava fritözü ile bitkisel yağlardaki tokoferol değişimini incelemiş ve tokoferol miktarının artan sıcaklık ve süreyle birlikte doğru orantıda azaldığını bunun yanında daha az sürede ve düşük sıcaklıklarda tokoferol miktarının çok fazla değişim göstermediğini belirtmiştir.

Yağların karakteristik özelliklerinin belirlenmesinde yağ asidi bileşimi önemli bir parametredir. İşlem görmemiş rafine ayçiçek yağının temel yağ asidi %68,59 oranı ile linoleik asit olarak bulunmuştur. Bu yağ asidini sırasıyla oleik (%23,23), palmitik (%5,66) ve stearik asitler (%2,42) takip etmiştir. Diğer yağ asitleri ise daha düşük oranlarda bulunan palmitoleik (%0,55), ve heptadekanoik (%0,01) asitlerdir. Optimum koşullarda sıcak havada kızartılan patateslerden elde edilen yağın yağ asitleri sırasıyla %68,52 oranı ile linoleik asit, oleik (%23,20), palmitik (%5,58) ve stearik asitlerdir (%2,20). Derin yağda kızartılan patateslerden elde edilen yağın temel yağ asitleri %68,64 oranı ile linoleik asit, oleik (%23,10), palmitik (%5,52) ve stearik asitlerdir (%2,12). Yağ asidi bileşimine ilişkin sonuçlar, farklı kızartma işlemlerinin yağ asidi bileşimini anlamlı düzeyde değiştirmedeğini ortaya koymuştur. Deniz Şirinyıldız (2019) yapmış olduğu çalışmada sığ (temaslı) kızartmanın yağ asidi bileşimi üzerine etkisini incelemiş ve ayçiçek yağının temel yağ asidinin linoleik asit olduğunu bulmuştur ve bu yağ asidi kızartma işlemi görmemiş örnekte %58,66 değerinde bulunurken, farklı sıcaklık ve sürelerde kızarttığı yağlarda bu değerin %58,42-59,03 arasında değiştiğini ve kızartma işlemiyle birlikte linoleik asit miktarında bir düşüş olduğunu belirtmiştir.

4.3. Kızartılmış Patateslerin Özellikleri

Çalışma kapsamında optimum koşullarda sıcak havada kızartılan patatesler ve derin yağda kızartılan patateslerin fizikokimyasal analizlerine ait sonuçlar ve *t*-testi sonuçları Çizelge 4.6’da gösterilmektedir.

Çizelge 4.6. Sıcak havada kızartılan ve derin yağda kızartılan patateslere ait fizikokimyasal özellikler

Fizikokimyasal Özellikler	Sıcak Havada Kızartılmış Patates Örnekleri	Derin Yağda Kızartılmış Patates Örnekleri	Bağımsız Gruplar t-testi p-değeri
Nem İçeriği (%)	68,36±1,27	64,51±1,11	0,017
Yağ İçeriği (%)	5,10±0,02	7,72±0,64	0,029
L*	56,81±2,15	49,85±1,90	0,000
a*	2,19±1,47	12,24±1,57	0,000
b*	25,61±2,66	33,16±1,57	0,000
C*	25,74±2,76	35,57±1,85	0,000
<i>h</i> ^o	85,31±2,76	69,79±1,97	0,000
ΔE	4,83	11,85	

ΔE : Sıcak havada ve derin yağda kızartılan patatesler ile ham patatesler arasındaki renk farkı

4.3.1. Nem Miktarı

Gıdaların nem içeriği, çok sayıda kalite ve gıda güvenliği faktörü için oldukça önemlidir (Fikry vd., 2021). Optimum koşullarda sıcak havada kızartılan ve derin yağda kızartılan patates örneklerinin yağ içeriği Çizelge 4.6’da gösterilmiştir. Sıcak havada kızartılan patateslerin nem içeriği %68,36 olarak bulunurken, derin yağda kızartılan patateslerin nem içeriği %64,51 olarak bulunmuştur. İki yöntem arasındaki farkın istatistikî olarak anlamlı olduğu görülmektedir.

Teruel vd. (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, kızartma işlemi uygulanan gıdaların nem içeriğindeki azalmanın sıcak havada kızartmada, derin yağda kızartmaya göre daha az gerçekleştiğini belirlemişlerdir. Bu farkın iki yöntem arasındaki ısı transfer hızı mekanizmasından yani sıvı fazda gaz faza göre daha hızlı olduğunu bulmuşlardır. Dong vd. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada sıcak havada kızartma işlemine tabi tutulan patateslerde nem içeriği oldukça düşük bulunmuştur.

Wang vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada da sıcak havada kızartma işleminde gıdaların nem içeriğinin daha düşük bulunmasının sebebinin ısı transfer hızının gaz ortamda (yağ buharı) sıvı ortama (dökme yağ) göre daha yavaş gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Coria-Hernández vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada nem içeriği ile ağırlık kaybı arasında bir ilişki olduğu ve sıcak havada kızartılmış ürünlerin en çok suyu uzaklaştıran ürünler olduğu belirlenmiştir.

4.3.2. Yağ Miktarı

Yağ içeriği, kızartılmış ürünlerin kalitesini ve tüketici tercihinin belirlenmesinde en kritik unsurlardan biridir (Ding vd., 2022). Optimum koşullarda sıcak havada kızartılan ve derin yağda kızartılan patates örneklerinin yağ içeriği Çizelge 4.6’da gösterilmiştir. Sıcak havada kızartılan patateslerin yağ içeriği %5,10 olarak bulunurken, derin yağda kızartılan patateslerin yağ içeriği %7,72 olarak bulunmuştur. Sıcak havada kızartılan patatesler istatistiki olarak anlamlı düzeyde daha düşük yağ içeriğine sahiptir.

Teruel vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada sıcak havada ve derin yağda kızartma işlemlerindeki yağ içeriğinin farklı olmasının sebebinin bu yöntemlerin uygulama biçimlerinden ileri geldiği belirtilmiştir.

Koyuncu (2013) yapmış olduğu bir çalışmada ham patatesin yağ içeriğini %0,08 olarak belirlerken, patatesler kızartıldıktan sonra yağ içeriğinin %7,37-8,58 arasında değiştiğini belirtmiştir. Andres vd. (2014) tarafından yapılan bir çalışmada derin yağda kızartılan ve sıcak havada kızartılan ürünler karşılaştırılmış ve sıcak havada kızartılan ürünlerin derin yağda kızartılan ürünlere kıyasla %90 oranında daha az yağ içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Santos vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada farklı bitkisel yağlar kullanılarak hazırlanan patatesler sıcak havada kızartılmış ve zeytinyağı ile kızartılan patateslerin yağ içeriğinde %70 düşüş olduğu saptanmıştır. Rahman vd. (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmada tatlı patatesler sıcak havada ve derin yağda kızartarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda sıcak havada kızartılan patateslerin %90,1 oranında daha az yağ içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir.

Andrés vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada sıcak havada ve derin yağda eşit

sürelerde kızartılan patates örnekleri karşılaştırılmış ve yağ emiliminin derin yağda kızartılan patateslerde on kat daha fazla olduğu belirlenmiştir. Amany vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada patates cipslerinde derin yağda kızartma işleminde en yüksek yağ alımı gözlemlenirken, sıcak havada kızartılanlarda ise en düşük yağ alımı gözlemlenmiştir.

4.3.3. Renk Değerleri

Kızartılan patateslerin rengi tüketicileri doğrudan etkilediği için kalite bakımından önemli bir parametredir. Literatürde, kızarmış ürünlerin renk oluşumu oksidasyon, karamelizasyon ve Maillard reaksiyonu gibi enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları ile ilişkilendirilmektedir. Laboratuvarında CIELAB koordinatları (L, a, b) kızartılmış patatesler üzerine doğrudan okunmuştur. CIELAB a, b ve L koordinatlarının ölçüldüğü bir renk sistemidir. Parlaklık (L), kırmızılık (a) ve sarılık (b) ölçütüdür. L değeri kızartma endüstrisinde kritik ve önemli bir parametredir ve genellikle kalite kontrol faktörü olarak kullanılmaktadır. C değeri renk sisteminin niceliksel yönüdür. Bir tonun iki uç nokta arasındaki farklılığı belirlemek için kullanılır. C değerinin yüksek olması tüketici tarafından fark edilebilirliği de arttıracaktır. h° değeri renk sisteminin niteliksel yönüdür. Kızartılmış patates örneklerinin parlaklık (L), kırmızılık (a) ve sarılık (b) değerleri Çizelge 4.6.'da gösterilmiştir. Sıcak havada kızartılan patates örneklerinin L değeri 56,81, a değeri 2,19 ve b değeri 25,61 olarak bulunmuştur. C ve h° değerleri ise sırasıyla 25,74 ve 85,31 olarak bulunmuştur. Derin yağda kızartılan patates örneklerinin L değeri 49,85, a değeri 12,24 ve b değeri 33,16 olarak bulunmuştur. C ve h° değerleri ise sırasıyla 35,57 ve 69,79 olarak bulunmuştur. Kızartılmamış patates ile kızartma işlemi görmüş patatesler arasındaki renk değişimi olan ΔE sıcak havada kızartma işleminde 4,83 olarak bulunurken, derin yağda kızartma işleminde 11,85 olarak tespit edilmiştir. Derin yağda kızartma işlemi sırasında patateslerde renk değişiminin daha fazla olduğu gözlenmektedir.

Ulusoy ve Ergin (2006) yapmış oldukları bir çalışmada kızartma sırasında yağların renginin önce mat sarıdan açık renge zamanla da daha koyu kahverengine dönüştüğünü belirtmişlerdir. Çalışmada a ve b değerlerinin ölçümleri belirli periyotlarla yapılmış ve tüm kızartmalarda bütün ölçümler boyunca doğrusal bir (R^2 , 0,93-0,99) artış olduğunu tespit etmişlerdir. L değerinde ise diğerlerinin aksine bütün kızartmalarda geçen süre boyunca azalma olduğu tespit edilmiştir.

Gökmen vd. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada patates cipslerindeki renk değişimlerini tanımlamak için CIE renk uzayı parametreleri (L, a, b) belirlenmiştir. CIE L ve b değerleri kızartma sırasında katlanarak azalmıştır. 170°C’de kızartma sırasında CIE a değeri hızla artarken kızartmanın ilk 5-8 dakikasında en yüksek noktaya ulaşmış ve yaklaşık 15 dakika sonra azalma eğilimi göstermiştir.

Yang vd. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada patates çeşitleri arasındaki renk değerleri ölçülmüş ve kızartma sıcaklığı 150°C’den 190°C’ye yükseldikçe L değeri azalma eğilimi göstermiştir, bu da patates dilimlerinin koyulaştığı anlamına gelmektedir. b sarılığı ifade eder ve b ve C (a ve b’nin renk parametreleriyle pozitif korelasyon gösterir) artma eğilimindedir, bu da kızartma sıcaklığı arttıkça patates dilimlerinin daha kırmızı ve sarı hale geldiğini kanıtlar. Kızartma sıcaklığı arttıkça h° değerinin azaldığını tespit etmişlerdir.

Sıcak havada ve derin yağda kızartılan patateslerin fizikokimyasal özellikleri arasındaki ilişkiyi daha iyi açıklayabilmek adına Pearson korelasyon testi uygulanmıştır. Korelasyon katsayısı (r), her bir veri içindeki tek nitelikler arasındaki korelasyonların karşılaştırılmasına olanak tanımaktadır (Philipp vd. 2017). Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde L değeri ile kızartma türü ($r = -0,867$), a değeri ($r = -0,854$), C değeri ($r = -0,774$) ve b değeri ($r = -0,732$) arasında önemli bir negatif korelasyon görülürken, h° değeri ($r = 0,844$) ile arasında önemli bir pozitif korelasyon görülmüştür ($p < 0,01$). Korelasyon katsayısının 0,70 civarında olması yüksek bir korelasyona işaret etmektedir (Paula ve Conti-Silva, 2014).

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde a değeri ile kızartma türü ($r = 0,958$), C değeri ($r = 0,956$) ve b değeri ($r = 0,925$) arasında önemli bir korelasyon mevcutken, h° değeri ($r = -0,996$) ile arasında önemli bir negatif korelasyon görülmüştür ($p < 0,01$).

Sıcak havada ve derin yağda kızartılan patateslerin b değeri ile kızartma türü ($r = 0,868$) ve C değeri ($r = 0,995$), C değeri ile kızartma türü ($r = 0,901$) arasında önemli bir pozitif korelasyon görülürken, yine b değeri ile h° değeri ($r = -0,910$), C değeri ile h° değeri ($r = -0,942$) ve h° değeri ile kızartma türü ($r = -0,957$) arasında önemli bir negatif korelasyon görülmüştür ($p < 0,01$).

Sıcak havada kızartılan ve derin yağda kızartılan patateslerden elde edilen sonuçlar değerlendirdiğinde nem miktarı ile h° değeri ($r = 0,866$) ve L değeri ($r = 0,831$), yağ miktarı ile ise a değeri ($r = 0,987$), kızartma türü ($r = 0,971$) ve C değeri ($r = 0,952$) arasında pozitif bir ilişki mevcuttur. Bunun yanı sıra nem miktarı ile kızartma türü ($r = -0,892$), a değeri (r

= -0,856), C değeri ($r = -0,831$) ve b değeri ($r = -0,823$), yağ miktarı ile ise h^o değeri ($r = -0,988$) ve L değeri ($r = -0,980$) arasında negatif bir ilişki mevcuttur ($p < 0,05$).

4.3.4. Duyusal Analiz Sonuçları

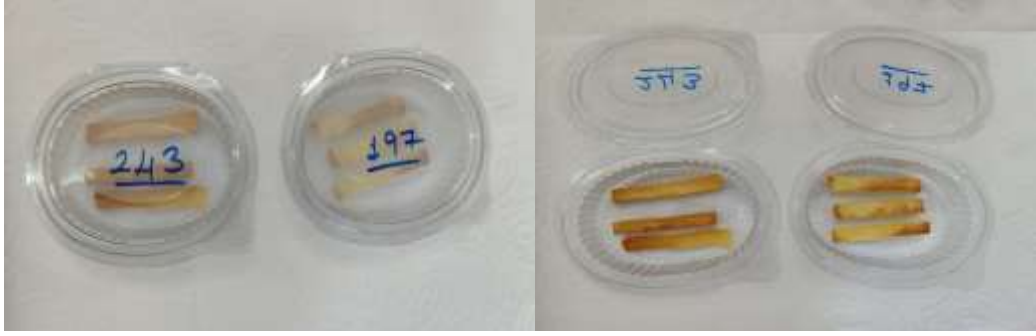
Bu çalışmada optimum koşullarda kızartılan patatesler ve geleneksel derin yağda kızartılan patateslerin duyusal analizlerine ait sonuçlar ve t -testi sonuçları Çizelge 4.7’de ve bu kızartma işlemlerine ait görseller Resim 4.1 ve Resim 4.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.7. Patates kızartmalarının duyusal analizine ait sonuçlar

Duyusal Özellik	Kızartma Yöntemi		Bağımsız Gruplar t -testi p -değeri
	Sıcak Havada Kızartma	Derin Yağda Kızartma	
Görünüş	3,19±1,08	3,90±1,18	0,047
Renk	3,19±1,12	3,81±1,12	0,082
Sertlik/yumuşaklık (dış)	3,38±0,92	3,38±1,07	1,000
Koku	3,43±1,08	4,05±1,02	0,063
Gevreklik	2,57±1,16	2,57±1,03	1,000
Yumuşaklık (iç)	3,81±1,17	3,76±0,77	0,877
Yağlılık	3,29±1,06	3,19±1,17	0,783
Lezzet/tat	3,14±1,11	3,71±0,96	0,081
Tüketim sonrası ağızda kalan his	3,29±1,06	3,95±0,74	0,023
Genel kabul edilebilirlik	3,00±0,95	3,52±0,81	0,062



Resim 4.1. Sıcak havada ve derin yağda kızartılan patateslere ait görseller



Resim 4.2. Tadım esnasında sunulan patateslere ait görseller

Sıcak havada ve derin yağda kızartılan patatesler belirli özellikler açısından duyuşsal olarak panelistler tarafından değerlendirilmiştir. Bunun sonucunda panelistler tarafından sıcak havada kızartılmış patateslerin görünüşü ortalama 3,19 puan alırken, derin yağda kızartma için bu değer 3,90 puan almıştır. Sıcak havada ve derin yağda kızartılan patateslerin ortalama renk değerleri sırasıyla 3,19 ve 3,81 puan almıştır. Panelistlerin kızartılmış patatesleri eline aldığında, dokusundaki sertliğe/yumuşaklığa verdiği ortalama puan sıcak havada ve derin yağda kızartılmış patatesler için 3,38 ile aynı puanı almıştır. Panelistlerin kızartılan patatesler için ortalama koku puanları sıcak havada kızartma için 3,43 derin yağda kızartma 4,05 puan almıştır. Sıcak havada ve derin yağda kızartılan patateslerin gevrekliği 2,57 ile aynı puan ortalamasına sahiptir. Panelistlerin patatesleri tattığındaki iç yumuşaklığına verdiği ortalama puan sıcak havada kızartmada 3,81 olurken derin yağda kızartmada 3,76'dır. Her iki kızartma türünde yağlılığına verilen ortalama puanlar sıcak havada kızartma için 3,29 iken derin yağda kızartma da 3,19 puan olmuştur. Panelistler lezzet/tat için derin yağda kızartılmış patateslere ortalama 3,71 puan verirken sıcak havada kızartma için 3,14 puan vermişlerdir. Kızartılmış patateslerin tüketim sonrasında ağızda kalan hissi sıcak havada kızartmada ortalama 3,29 puan alırken derin yağda kızartmada 3,95 puan almıştır. Panelistlerin her iki kızartma türü için de genel kabul edilebilirlik puanları sıcak havada kızartma için ortalama 3,00 olurken, derin yağda kızartma için 3,52 puan almıştır.

Panelistler genel olarak derin yağda kızartılmış patateslerin görünüşü, rengi, kokusu, lezzeti/tadı, tüketim sonrasında ağızda kalan hissi ve genel kabul edilebilirliğine daha yüksek puanlar verirken sıcak hava kızartılmış patatesler için tattıklarındaki iç yumuşaklığına ve yağlılığına daha yüksek puan vermişlerdir. Bunun yanı sıra kızartılmış patateslerin dokusundaki sertliği/yumuşaklığı ve gevrekliği hem sıcak havada kızartma hem de derin yağda kızartma türü için aynı puanları almıştır.

Sıcak havada kızartılan ve derin yağda kızartılan patates örneklerinin görünüşü ve tüketim sonrası ağızda bıraktığı his açısından iki grup arasında istatistiki olarak anlamlı bir fark tespit edilmiştir ($p<0,05$). Her iki yöntemde de kızartılan patates örneklerinin rengi, elle dokunulduğundaki sertliği/yumuşaklığı, kokusu, gevrekliği, iç yumuşaklığı, yağlılığı, lezzeti/tadı ve genel kabul edilebilirliği açısından istatistiki olarak önemli fark gözlenmemiştir.

Rahman vd. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada sıcak havada kızartılmış patates atıştırmalıklarının duyu özellikleri (renk, tat, gevreklik ve aroma) derin yağda kızartılmış patateslerle karşılaştırılmıştır. En yüksek puanlar görünüş (%60), tat (%60) ve optimize edilmiş sıcak havada kızartılmış tatlı patatesin gevrekliği (%55) olarak belirlenmiştir. Bu durum, sıcak havada kızartma tekniği ile optimum şartlarda kızartılan gıdanın kalitesinin yüksek olduğunu göstermektedir.

Teruel vd. (2015) tarafından yapılan bir çalışmada geleneksel derin yağda kızartılmış patatesler ve sıcak havada kızartılmış patateslerin duyu özellikleri karşılaştırılmış ve duyu değerlendirme sonucunda derin yağda kızartılmış patateslerde kızartma kokusu alınırken, sıcak havada kızartılan patateslerde kumpir kokusu aldıklarını bildirmişlerdir.

Tian vd. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada geleneksel derin yağda kızartılmış patateslerle sıcak havada kızartılmış patatesler duyu özellikler bakımından karşılaştırıldığında (tat, görünüm, yağlılık, gevreklik ve genel kabul edilebilirlik) önemli ölçüde farklı olmadıkları belirlenmiştir. Ancak renk ve sertlik açısından, sıcak havada kızartılmış patateslerin kalitesinin, geleneksel derin yağda kızartılmış patates dilimlerinden daha iyi olduğu belirlenmiştir.

Santos vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada farklı bitkisel yağlar kullanarak kızartılan patatesleri derin yağda ve sıcak havada kızartarak karşılaştırmışlar ve duyu açıdan ele alındığında yağ türünden bağımsız olarak renk özellikleri ve koku yoğunluğunun derin yağda kızartma işleminde sıcak havada kızartma işlemine göre daha yüksek olduğunu bulgulamışlardır. Ağızda kalan tat özellikleri her kızartma işleminde yağlar arasında benzerlik göstermektedir. Kabul edilebilirlik açısından her iki kızartma tekniğinde de farklılıklar gözlemlenmiştir. Bunun nedeninin ise kültürel alışkanlıklardan kaynaklanabileceği ileri sürülmüştür.

Kızartma işlemleri sırasında incelenen duyu parametreler arasındaki ilişkiyi daha iyi açıklayabilmek adına Pearson korelasyon testi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar

lezzet/tat ile genel kabul edilebilirlik arasında ($r = 0,762$) ve görünüş ile renk arasında ($r = 0,749$) önemli bir korelasyon olduğu göstermektedir ($p < 0,01$).

Li vd. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada fast food restoranlarından alınan patates kızartmalarının dokusunu değerlendirmek için duyuusal ve enstrümantal teknikler uygulanmıştır. Duyusal ve enstrümantal teknikler arasındaki anlamlı ilişkiyi daha iyi açıklığa kavuşturmak için parametreler arasında Pearson korelasyon testi uygulanmıştır. Sonuç olarak duyuusal-sertlik ile duyuusal-gevrekliğin en yüksek pozitif korelasyona sahip olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca, duyuusal-uyumluluk ve duyuusal-pürüzlülük ile kırılabilirlik arasında anlamlı pozitif korelasyon görüldüğünü belirtmişlerdir ($r = 0.66$ ve $0,81$).





5. SONUÇ

Tez çalışması kapsamında sıcak havada kızartma işlemi sırasında kızartma sıcaklığı, süresi, NaCl ve yağ oranlarının kızartılmış patateslerin 3-MCPD ve G-E içeriklerine etkisinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda Aydın toptan halinden temin edilen patatesler karanlık ve serin bir yerde depolandıktan sonra zamanla kızartma işlemine tabi tutularak yağı çıkarılmış ve elde edilen yağlar 3-MCPD-E, G-E ve kalite parametreleri bakımından incelenmiştir. Sıcak havada kızartılacak olan patatesler için 29 deneme belirlenmiş ve bu kızartma işleminde sıcaklık (160-200°C), süre (7,5-25 dk.), yağ (10-50 g/kg) oranı ve tuz (%0-10) oranının etkileri yanıt yüzey yöntemi (Response Surface Methodology, RSM) ile incelenmiştir. RSM; 3-MCPD-E ve G-E için deneysel doğrulaması yüksek, uygulanabilir bir model oluşturmuştur. 3-MCPD-E için oluşturulan modelin tuz oranına karşı daha hassas olduğu bulunurken, G-E için oluşturulan modelin süre bağımsız değişkenine karşı daha duyarlı olduğu bulunmuştur. Minimum 3-MCPD-E ve G-E düzeyi hedeflendiğinde optimum koşullar için işlem sıcaklığı 181,76 (°C), işlem süresi 15,59 (dk.), yağ oranı 44,06 (g/kg) ve tuz oranı %0,11 olarak tespit edilmiştir. Optimum koşullarda yapılan kızartma işlemleri sonucunda belirlenen 3-MCPD-E ve G-E düzeyleri ile model üzerinden tahmin edilen 3-MCPD-E ve G-E düzeyleri birbirine oldukça yakın bulunmuştur.

Optimum koşullarda yapılan sıcak havada ve derin yağda kızartma işlemi sonucunda elde edilen yağ ve işlem görmemiş rafine ayçiçek yağı kalite parametreleri bakımından incelenmiştir. İşlem görmemiş rafine ayçiçek yağında 0,28 mg/kg 3-MCPD-E belirlenirken; sıcak havada kızartmada 0,35 mg/kg düzeyinde ve derin yağda kızartmada ise 0,39 mg/kg düzeyinde 3-MCPD-E belirlenmiştir. Aynı durum G-E'ler bakımından incelendiğinde işlem görmemiş rafine ayçiçek yağında 0,09 mg/kg G-E belirlenirken; sıcak havada kızartmada 0,03 mg/kg düzeyinde ve derin yağda kızartmada ise 0,11 mg/kg düzeyinde G-E belirlenmiştir. İşlem görmemiş rafine ayçiçek yağının peroksit değeri 1,48 meq O₂/kg yağ bulunurken, sıcak havada kızartmada 6,19 meq O₂/kg yağ, derin yağda kızartmada ise 6,72 meq O₂/kg yağ olarak bulunmuştur. İşlem görmemiş rafine ayçiçek yağının renk indeksi 0,05 bulunurken, sıcak havada kızartmada 2,72 derin yağda kızartmada ise 0,12 olarak bulunmuştur. İşlem görmemiş, sıcak havada kızartılmış ve derin yağda kızartılmış patateslerden elde edilen yağların yağ asidi bileşiminde istatistiki olarak anlamlı bir fark tespit edilmemiştir.

Bu tez çalışması ile sıcak havada kızartma işleminin kızartılmış ürünlerdeki 3-MCPD ve G-E içeriğine etkisi ilk defa belirlenmiştir. Literatürde sıcak havada kızartma işleminin insan sağlığına zararlı toksik bileşenler olan 3-MCPD-E ve G-E'lere etkisini inceleyen çalışmanın bulunmaması önemli bir eksiklik olarak değerlendirilmiştir. Çalışma ile yanıt yüzey yöntemi kullanarak sıcak havada kızartma işlemi sırasında kızartma sıcaklığı, süresi, NaCl ve yağ oranlarının kızartılmış patateslerin 3-MCPD-E ve G-E içeriklerine etkisi belirlenmiştir. Bu çalışma sayesinde yanıt yüzey yönteminin bu kontaminantların proses koşullarına bağlı olarak oluşum ve/veya değişimine etkisinin belirlenmesindeki kullanılabilirliği de değerlendirilmiş ve bu bileşiklerin en az düzeyde oluşumu için gerekli işlem koşulları belirlenerek optimum noktalar tespit edilmiştir. Bu sayede sıcak hava fritözleri ile kontrollü koşullarda 3-MCPD-E ve G-E'lerini minimum düzeyde içeren güvenli patates kızartması üretimi gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- Andrés, A., Arguelles, A., Castelló, M. ve Heredia, A. (2013). Mass Transfer and Volume Changes in French Fries During Air Frying. *Food Bioprocess Technol*, 6, 1917-1924. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0861-2>
- Amany, Basuny, M., Hala ve Oatibi, H. (2016). Effect Of a Novel Technology (Air and Vacuum Frying) On Sensory Evaluation and Acrylamide Generation Fried Patato Chips. *Banat's Journal of Biotechnology*, VII(14), 101.
- Aniołowska, M. ve Kita, A. (2015). The Effect of Type of Oil and Degree of Degradation on Glycidyl Esters Content During the Frying of French Fries. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 92(11-12), 1621-1631. <https://doi.org/10.1007/s11746-015-2715-3>
- Aniołowska, M. ve Kita, A. (2016). The effect of frying on glycidyl esters content in palm oil. *Food Chemistry*, 203, 95-103. <https://doi.org/10.1007/s11746-015-2715-3>
- AOAC (The Association of Official Analytical Chemists). (2000). *Official methods of analysis of AOAC international*. 17th Edition, Washington DC, USA.
- AOCS (American Oil Chemists' Society). (2003). *Official and recommended methods of the American Oil Chemists' Society*. AOCS Press, Champaign.
- Arisseto, A. P., Marcolino, P. F. C., Augusti, A. C., Scaranelo, G. R., Berbari, S. A. G., Miguel, A. M. R. O., ... Vicente, E. (2017). Contamination of fried foods by 3-monochloropropane-1, 2-diol fatty acid esters during frying. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 94, 449-455. <https://doi.org/10.1007/s11746-017-2951-9>
- Arisseto, A. P., Silva, W., Scaranelo, G. ve Vicente, E. (2017). 3-MCPD and glycidyl esters in infant formulas from the Brazilian market: Occurrence and risk assessment. *Food Control*, 77, 76-81. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.01.028>
- Asar, B. (2014). *Ev Tipi Fırında Sıcak Hava ile Kızartma İşleminin, Taze Ve Dondurulmuş Parmak Patateslerin Kalite Parametrelerine Etkisinin İncelenmesi*. [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=1zw6GvYMe-q3Hf6HR-3US5Dtv7aRkhYqumtUel_E2-n5wlIq4e8Mj9BrkvUZTThV

- Ataç, Ö. (2005). *Kızartma Yağının ve Biyodizelin Adsorpsiyon Yöntemi ile Saflaştırılması*. [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Avcı, B. (2015). *Effect of Deep-Frying on the Quality Parameters of Vegetable Oils*. [Yüksek lisans tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=WY5CM7tPNE2z_YM6pBu0t-WpgGmxrkkqh98_GYXT9QmTfw1i3diyoJI3R986xSxW
- Bal, A. ve Küçüköner, E. (2023). Sıcak Hava Fritözü ve Derin Yağda Kızartma Tekniği ile Kızartılmış Gıdaların Karşılaştırılması. *Gıda*, 48(5), 1060-1070. <https://doi.org/10.15237/gida.GD23086>
- Basuny, A. M. M. ve Oatı, H. H. A. (2016). Effect of a novel technology (air and vacuum frying) on sensory evaluation and acrylamide generation in fried potato chips. *Banat's Journal of Biotechnology*, 7(14). [https://doi.org/10.7904/2068-4738VII\(14\)-101](https://doi.org/10.7904/2068-4738VII(14)-101)
- Belkova, B., Hradecky, J., Hurkova, K., Forstova, V., Vaclavik, L. ve Hajslova, J. (2018). Impact of vacuum frying on quality of potato crisps and frying oil. *Food Chemistry*, 241, 51-59. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.062>
- Cao, Y., Wu, G., Zhang, F., Xu, L., Jin, Q., Huang, J. ve Wang, X. (2020). A Comparative Study of Physicochemical and Flavor Characteristics of Chicken Nuggets during Air Frying and Deep Frying. *J Am Oil Chem Soc*, 97(8), 901-913. <https://doi.org/10.1002/aocs.12376>
- Carvalho, A. G., García, L., Gaspar, B., Pancarbo, A., Branco, V. ve Torres, A. (2022). Evolution of the metabolic profile of virgin olive oil during deep-frying: Assessing the transfer of bioactive compounds to the fried food. *Food chemistry*, 380, 132205. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132205>
- Chang, C., Wu, G., Zhang, H., Jin, Q. ve Wang, X. (2020). Deep-fried flavor: characteristics, formation mechanisms, and influencing factors. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(9), 1496-1514. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1575792>
- Chen, Y. ve Moreira, R. (1997). Modelling Of A Batch Deep-Fat Frying Process For Tortilla Chips. *Food Bioprod. Process.* 75(3), 181-190. <https://doi.org/10.1205/096030897531531>

- Cheng, W., Liu, G. ve Liu, X. (2016). Formation of glycidyl fatty acid esters both in real edible oils during laboratory-scale refining and in chemical model during high temperature exposure. *Journal of Agricultural and Food*, 64(29), 5919-5927. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b01520>
- Choe, E. ve Min, D. B. (2007). Chemistry of deep-fat frying oils. *Journal of food science*, 72(5), 77-86. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00352.x>
- Chung, J., Lee, J. ve Choe, E. (2004). Oxidative Stability of Soybean and Sesame Oil Mixture during Frying of Flour Dough. *Journal of Food Science*, 69(7), 574-578. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb13652.x>
- Coria-Hernández, J., Roman, J. ve Perez, R. (2023). Comparative study of conventional frying and air frying on the quality of potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Food Science & Nutrition*, 11(10), 6676-6685. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3617>
- Debnath, S., Rastogi, N., Karishna, A. ve Lokesh, B. (2012). Effect of frying cycles on physical, chemical and heat transfer quality of rice bran oil during deep-fat frying of poori: An Indian traditional fried food. *Food and Bioproducts Processing*, 90(2), 249-256. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.05.001>
- Demirel Demiray, İ. (2023). *Farklı kızartma sıcaklıklarında derin yağda kızartma sırasında tavuk nuggetlarının kalite değişimlerinin modellenmesi*. [Yüksek lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=nLNfCsWgUluh5T2iyudShqTFJD_WvXYTRvppEBQ5_DyLBpYD3SCWww-g400pTU7Y
- Deniz Şirinyıldız, D. (2019). *Sığ (Temaslı) Kızartma İşleminin Yemeklik Yağlarda 3-MCPD ve Glisidil Ester İçeriğine Etkisi*. [Yüksek lisans tezi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=as2oTjW5jfr9IKSvmCdJYjNkMkcVdRa5c1lnBnvhXCZ8BgWPw16qYLzyuCN9h4Ka>
- Ding, Y., Zhou, T., Liao, Y., Lin, H., Deng, s. ve Zhang, B. (2022). Comparative Studies on the Physicochemical and Volatile Flavour Properties of Traditional Deep Fried and Circulating-Air Fried Hairtail (*Trichiurus lepturus*). *Foods*, 11(17), 2710. <https://doi.org/10.3390/foods11172710>

- Dingel, A. ve Matissek, R. (2015). Esters of 3-monochloropropane-1,2-diol and glycidol: no formation by deep frying during large-scale production of potato crisps. *European Food Research and Technology*, 241(5), 719-723. <https://doi.org/10.1007/s00217-015-2491-1>
- Divinová, V., Doležal, M. ve Velíšek, J. (2007). Free and bound 3-chloropropane-1, 2-diol in Coffee. *Czech Journal of Food Sciences*, 25(1), 39 - 47. <https://doi.org/10.17221/735-CJFS>
- Doležal, M., Chaloupská, M., Divinová, V., Svejková, B. ve Velíšek, J. (2005). Occurrence of 3-chloropropane-1, 2-diol and its esters in coffee. *European Food Research and Technology*, 221, 221-225. <https://doi.org/10.1007/s00217-004-1118-8>
- Dong, L., Qiu, C. Y., Wang, R., Zhang, Y., Wang, J., Liu, J. M., . . . Wang, S. (2022). Effects of Air Frying on French Fries: The Indication Role of Physicochemical Properties on the Formation of Maillard Hazards, and the Changes of Starch Digestibility. *Frontiers in Nutrition*, 9, 889901. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.889901>
- Duman, E., Türk Baydır, A. ve Duman, S. (2015). Ayçiçek Yağının Oksidasyon Kararlılığına Retinol Palmitat'ın Etkisinin Ransimat Metodu ile Tespiti. *Kocatepe Veteriner Dergisi*, 33-38. <https://doi.org/10.5578/kvj.9158>
- Fang, M. C., Chin, P. S. Y., Sung, W. C., ve Chen, T. (2023). Physicochemical and Volatile Flavor Properties of Fish Skin under Conventional Frying, Air Frying and Vacuum Frying. *Advances in Analytical Chemistry and –Omics Approach of Foods and Food Technology*. 28(11), 4376. <https://doi.org/10.3390/molecules28114376>
- Fang, M., Huang, G. J. ve Sung, W.C. (2021). Mass transfer and texture characteristics of fish skin during deep-fat frying, electrostatic frying, air frying and vacuum frying. *Food Science and Technology*. 137, 110494. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110494>
- Fang, M., Ting, Y. S. ve Sung, W. (2022). Effects of Sodium Alginate, Pectin and Chitosan Addition on the Physicochemical Properties, Acrylamide Formation and Hydroxymethylfurfural Generation of Air Fried Biscuits. *Department of Food Science*. 14(19), 3961. <https://doi.org/10.3390/polym14193961>

- Fikry, M., Khalifa, I., Sami, R., Khojah, E., Khadiga, A. ve Dabbour, M. (2021). Optimization of the Frying Temperature and Time for Preparation of Healthy Falafel Using Air Frying Technology. *Academic Open Access Publishing*, 10(11), 2567. <https://doi.org/10.3390/foods10112567>
- Fritsch, C. W. (1981). Measurements of frying fat deterioration: a brief review. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 58(3), 272-274. <https://doi.org/10.1007/bf02582355>
- Gertz, C. (2000). Chemical and physical parameters as quality indicators of used frying fats. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 102(8-9), 566-572. [https://doi.org/10.1002/1438-9312\(200009\)102:8/9<566::AIEJLT566>3.0.CO;2-B](https://doi.org/10.1002/1438-9312(200009)102:8/9<566::AIEJLT566>3.0.CO;2-B)
- Ghaitaranpour, A., Mohebbi, M. ve Koocheki, A. (2018). Characterizing the cellular structure of air and deep fat fried doughnut using image analysis techniques. *Journal of food engineering*, 237, 231-239. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.06.006>
- Ghaitaranpour, A., Mohebbi, M. ve Koocheki, A. (2021). An innovative model for describing oil penetration into the doughnut crust during hot air frying. *Food Research International*, 147, 110458. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110458>
- Goh, K. M., Wong, Y., Tan, C. ve Nyam, K. (2021). A Summary of 2-, 3-MCPD Esters and Glycidyl Ester Occurrence During Frying and Baking Processes. *Current Research in Food Science*, 4, 460-469. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.07.002>
- Goujot, D., Gouyo, T., Bohuon, P. ve Courtois, F. (2021). A versatile simulator for defrosting, convective and boiling drying during hot air frying process. *European Modeling & Simulation Symposium International Multidisciplinary Modeling & Simulation Multiconferenc*. <https://doi.org/10.46354/i3m.2021.foodops.003>
- Gouyo, T., Rondet, E., Mestres, C., Hofleitner, C. ve Bohuon, P. (2021). Microstructure analysis of crust during deep-fat or hot-air frying to understand French fry texture. *Journal of Food Engineering*. 298, 110484. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110484>
- Gökmen, V., Şenyuva, H. Z., Dölek, B., & Çetin, A. E. (2007). Computer vision-based image analysis for the estimation of acrylamide concentrations of potato chips and french fries. *Food Chemistry*, 101(2), 791-798. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.02.034>

- Hammouda, I. B., Zribi, A., Mansour, A., Matthäus, B. ve Bouaziz, M. (2017). Effect of deep-frying on 3-MCPD esters and glycidyl esters contents and quality control of refined olive pomace oil blended with refined palm oil. *European Food Research and Technology*, 243, 1219-1227. <https://doi.org/10.1007/s00217-016-2836-4>
- Heredia, A., Castello, M., Argüelles, A. ve Andres, A. (2014). Evolution of mechanical and optical properties of French fries obtained by hot air-frying. *LWT-Food Science Technology*, 57, 755-760. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.02.038>
- Hrncirik, K. ve Duijn, G. (2011). An initial study on the formation of 3-MCPD esters during oil refining. *European Journal of Lipid Science and*, 113(3), 374-379. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201000317>
- Huang, X., Zhang, Y., Karrar, E., Zhang, H., Jin, Q., Wu, G. ve Xingguo, W. (2022). Effect of moderate electric field on the quality, microstructure and oil absorption behavior of potato strips during deep-fat frying. *Journal of Food Engineering*, 313, 110751. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110751>
- Ilko, V., Zelinková, Z., Doležal, M. ve Velišek, J. (2011). 3-Chloropropane-1,2-Diol Fatty Acid Esters in Potato Products. *Czech Journal of Food Sciences*, 29(4), 411-419. <https://doi.org/10.17221/468/2010-CJFS>
- Kano, C., Xinyao, W., Etaka, C. ve Chaves, B. (2022). Thermal inactivation of Salmonella on chicken wings cooked in domestic convection and air fryer ovens. *Journal Of Food Science- Food Microbiology And Safety*, 87, 3611-3619. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16230>
- Karl, H., Merkle, S., Kuhlmann, J. ve Fritsche, J. (2016). Development of analytical methods for the determination of free and ester bound 2-, 3-MCPD, and esterified glycidol in fishery products. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 118(3), 406-417 <https://doi.org/10.1002/ejlt.201400573>
- Kiatsrichart, S., Brewer, M., Cadwallader, K. ve Artz, W. (2003). Pan-frying stability of NuSun oil, a mid-oleic sunflower oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 80, 479-483. <https://doi.org/10.1007/s11746-003-0724-y>

- Koyuncu, G. (2013). *Rafine fındık yağının kızartma performansının belirlenmesi*. [Yüksek lisans tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=iTkOhwevEenJZ3onUvs52iYY7p0-35S5C2_SnaSUKDM9zc_zjwLWtsmWRVSh4G_-
- Kutluk, T. (2021). Mikroalg yağının lipaz katalizli hidroliz tepkimesine etki eden proses parametrelerinin istatistiksel yöntemle optimizasyonu. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(1), 111-125. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.715085>
- Lee, J. S., Han, J. W., Jung, M., Lee, K. ve 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. <https://doi.org/10.3390/foods9050573>
- Liu, J., Guan, X., Zhu, D. ve Sun, J. (2008). Optimization of the enzymatic pretreatment in oat bran protein extraction by particle swarm optimization algorithms for response surface modeling. *LWT-Food science and technology*, 41(10), 1913-1918. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.02.013>
- Li, P., Wu, G., Yang, D., Zhang, H., Qi, X., Jin, Q., & Wang, X. (2020). Applying sensory and instrumental techniques to evaluate the texture of French fries from fast food restaurant. *Journal of texture studies*, 51(3), 521-531. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12506>
- Liu, L., Huang, P., Xie, W., Wang, J., Li, Y., Wang, H., . . . Zhao, Y. (2022). Effect of air fryer frying temperature on the quality attributes of sturgeon steak and comparison of its performance with traditional deep fat frying. *Food Science Nutrition*, 10, 342-353. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2472>
- Lu, W., Zhang, M., Zhang, T., Wang, Q., Wang, J., Song, G., . . . Shen, Q. (2021). Impact of air-frying on the plasmalogens deterioration and oxidation in oyster revealed by mild acid hydrolysis and HILIC-MS-based lipidomics analysis. *Wiley-VCH GmbH*, 42, 1552-1559. <https://doi.org/10.1002/elps.202100106>
- Mellema, M. (2003). Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. *Trends in food science & technology*, 14(9), 364-373. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(03\)00050-5](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(03)00050-5)

- Moyano, P. C. ve Pedreschi, F. (2006). Kinetics of oil uptake during frying of potato slices: Effect of pre-treatments. *LWT- Food Science and Technology*, 39(3), 285-291. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.01.010>
- Nandasiri, R., Semenko, B., Wijekoon, C. ve Suh, M. (2023). Air-Frying Is a Better Thermal Processing Choice for Improving Antioxidant Properties of Brassica Vegetables. *Antioxidants*, 12(2), 490. <https://doi.org/10.3390/antiox12020490>
- Ngan, H. L., Ip, S. Y., Wang, M. ve Zhou, Q. (2023). Comparative study of sensory and physicochemical characteristics of green-tea-fortified cupcakes upon air frying and oven baking. *Foods*, 12(6), 1266. <https://doi.org/10.3390/foods12061266>
- Odenigbo, A., Rahimi, J., Ngadi, M., Wees, D., Arif, M. ve Seguin, P. (2012). Quality Changes in Different Cultivars of Sweet Potato During Deep-Fat. *Food Processing & Technology*, 3(5), 3-7. <http://dx.doi.org/10.4172/2157-7110.1000156>
- Santos, C.S.P., Cunha, C.S. ve Casal S. (2017). Deep or Air frying? A Comparative Study With Different Vegetable Oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 119, 1600375. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201600375>
- Sumnu, S. ve Sahin, S. (2008). Advances in deep-fat frying of foods. CRC press., 321. <https://doi.org/10.1201/9781420055597>
- Pathare, P. B., Opara, U., Said, F. ve Said, J. (2013). Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. *Food and bioprocess technology*, 6, 36-60. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>
- Paula, A. M., & Conti-Silva, A. C. (2014). Texture profile and correlation between sensory and instrumental analyses on extruded snacks. *Journal of Food Engineering*, 121, 9-14. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.007>
- Philipp, C., Buckow, R., Silcock, P., & Oey, I. (2017). Instrumental and sensory properties of pea protein-fortified extruded rice snacks. *Food Research International*, 102, 658-665. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.048>
- Priya, E., Sarika, K., Lekshmi, R., Kumar, S. ve Greeshma, S. (2017). Air frying- A healthy alternative for conventional frying. *Food Chem.*, 100(2), 756-763.

- Rahman, N. A., Razak, S., Lokmanalhakim, L., Taip, F. ve Kamal, S. (2017). Response surface optimization for hot air-frying technique and its effects on the quality of sweet potato snack. *Journal of Food Process Engineering*. 40, 12507. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12507>
- Rahn, A. K. ve Yaylayan, V. (2011). What do we know about the molecular mechanism of 3-MCPD ester formation? *European Journal of Lipid Science and Technology*, 113(3), 323-329. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201000310>
- Razak, R. A., Kuntom, A., Siew, W., Ibrahim, N., Ramli, M., Hussein, R. ve Nesaretnam, K. (2012). Detection and monitoring of 3-monochloropropane-1,2-diol (3-MCPD) esters in cooking oils. *Food Control*, 25(1), 355-360. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.10.058>
- Safari, A., Salamat, R. ve Baik, O. D. (2018). A review on heat and mass transfer coefficients during deep-fat frying: Determination methods and influencing factors. *Journal of Food Engineering*, 230, 114-123. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.01.022>
- Salamatullah, A. M., Ahmed, M. A., Alkaltham, M. S., Hayat, K., Aloumi, N. S., Al-Dossari, A. M., ... Arzoo, S. (2021). Effect of air-frying on the bioactive properties of eggplant (*Solanum melongena* L.). *Processes*, 9(3), 435. <https://doi.org/10.3390/pr9030435>
- Schmiedeskamp, A., Schreiner, M. ve Baldermann, S. (2022). Impact of Cultivar Selection and Thermal Processing by Air Drying, Air Frying, and Deep Frying on the Carotenoid Content and Stability and Antioxidant Capacity in Carrots (*Daucus carota* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70, 1629-1639. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c05718>
- Seçilmiş, Ş. S. (2020). Yağ Rafinasyonu Sırasında İnsan Beslenmesinde Önemli Fonksiyonel Bileşenlerde Değişimler ve Zararlı Rafinasyon Bileşenlerinin Oluşumu. *Akademik Gıda*, 18(3), 331-338. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.818207>
- Silva, E. M., Rogez, H. ve Larondelle, Y. (2007). Optimization of extraction of phenolics from *Inga edulis* leaves using response surface methodology. *Separation and purification technology*, 55(3), 381-387. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2007.01.008>

- Svejkovská, B., Novotný, O., Divinová, V., Réblová, Z., Doležal, M. ve Velíšek, J. (2004). Esters of 3-Chloropropane-1,2-Diol in Foodstuffs. *Czech Journal of Food Sciences*, 22(5), 190. <https://doi.org/10.17221/3423-CJFS>
- Teruel, M. d., Gordon, M., Linares, M., Garrido, M., Ahromrit, A. ve Niranjana, K. (2015). Comparative study of the characteristics of french fries produced by deep fat frying and air frying. *Journal of Food Science*, 80, 349-358. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12753>
- Tian, J., Chen, S., Shi, J., Chen, J., Liu, D., Cai, Y., . . . Ye, X. (2017). Microstructure and digestibility of potato strips produced by conventional frying and air-frying: an in vitro study. *Food Structure*. 14, 30-35. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2017.06.001>
- Uslu, N. (2014). *Kızartma teerrür sayısının farklı bitkisel yağların fizikokimyasal özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi*. [Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi].
YÖK Ulusal Tez Merkezi.
<https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=sY7m19PfcL6F1NUw-cr80OoPIEL7HR0vTztZMdiqSrkhX9UqCIjgUU3-vArHyDZL>
- Wang, L., Chen, W., Zhou, R., Ren, Y., Wang, K., Jiang, N. ve Gao, R. (2022). Physicochemical and sensory properties of a tilapia skin-based ready-to-eat snack prepared by infrared drying and air frying. *Applied Food Research*, 2, 100155. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100155>
- Wang, Y., Wu, X., McClements, D., Chen, L., Miao, M. ve Jin, Z. (2021). Effect of New Frying Technology on Starchy Food Quality. *Starch Food: Latest Advances and Prospects*. 10(8), 1852. <https://doi.org/10.3390/foods10081852>
- Weißhaar, R. (2011). Fatty acid esters of 3-MCPD: Overview of occurrence and exposure estimates. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 113(3), 304-308. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201000312>
- Wong, Y. H., Muhamad, H., Abas, F., Lai, O., Nyam, K. ve Tan, C. (2017b). Effects of temperature and NaCl on the formation of 3-MCPD esters and glycidyl esters in refined, bleached and deodorized palm olein during deep-fat frying of potato chips. *Food Chemistry*, 219, 126-130. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.130>

- Wong, Y. H., Lai, O., Abas, F., Nyam, K., Nehdi, I., Muhamad, H. ve Tan, C. (2017a). Factors Impacting the Formation of 3-MCPD Esters and Glycidyl Esters During Deep Fat Frying of Chicken Breast Meat. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 94(6), 759-765. <https://doi.org/10.1007/s11746-017-2991-1>
- Yang, Y., Achaerandio, I., & Pujolà, M. (2016). Influence of the frying process and potato cultivar on acrylamide formation in French fries. *Food control*, 62, 216-223. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.10.028>
- Yıldırım, S. (2024). *Airfryer pişirme tekniğinin bitkisel yağlar üzerindeki etkilerin incelenmesi*. [Yüksek lisans tezi, Konya Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=weFMBHaUra8rsS5wi2bmHIUxUJcvxtp27ECs6fVasaY5gtcQg1Cu_kBXJoHIA5Zhttps://hdl.handle.net/20.500.13091/5252
- Yu, X., Li, L., Xue, J., Wang, J., Song, G., Zhang, Y. ve Shen, Q. (2020). Effect of air-frying conditions on the quality attributes and lipidomic characteristics of surimi during processing. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 60, 102305. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102305>
- Yuan, Y., Cuo, C., Liu, H., Li, X., Cao, Y., Zhang, Y. ve Yan, H. (2022). “Effects of Oxidation and Hydrolysis of Frying Oil on MCPD Esters Formation in Chinese Fried Dough Sticks”. *LWT*, 154, 112576. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112576>
- Zaghi, A. N., Barbalho, S., Guiguer, E. ve Otoboni, A. (2019). Frying Process: From Conventional to Air Frying Technology. *Food Reviews International*, 35, 763-777. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1600541>
- Zelinková, Z., Svejková, B., Velíšek, J. ve Doležal, M. (2006). Fatty acid esters of 3-chloropropane-1,2-diol in edible oils. *Food additives and contaminants*, 23(12), 1290-1298. <https://doi.org/10.1080/02652030600887628>
- Zelinková, Z., Doležal, M. ve Velíšek, J. (2009). 3-Chloropropane-1, 2-diol Fatty Acid Esters in Potato. *Czech J Food Sci*, 27, 421-424.

- Zhou, H., Jin, Q., Wang, X. ve Xu, X. (2014). Effects of temperature and water content on the formation of 3-chloropropane-1,2-diol fatty acid esters in palm oil under conditions simulating deep fat frying. *European Food Research and Technology*, 238, 495-501. <https://doi.org/10.1007/s00217-013-2126-3>
- Zhou, M., Shi, G., Deng, Y., Wang, C., Yu, Q., Guangquan, X., . . . Ding, A. (2022). Study on the physicochemical and flavor characteristics of air frying and deep frying shrimp (crayfish) meat. *Frontiers in Nutrition*, 9, 1022590. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1022590>
- Ziaiiifar, A. M., Achir, N., Courtois, F., Trezzani, I. ve Trystram, G. (2008). Review of mechanisms, conditions, and factors involved in the oil uptake phenomenon during the deep-fat frying process. *International journal of food science & technology*, 43(8), 1410-1423. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01664.x>
- Zribi, A., Jabeur, H., Aladedunye, F., Rebai, A., Matthäus, B. ve Bouaziz, M. (2014). Monitoring of Quality and Stability Characteristics and Fatty Acid Compositions of Refined Olive and Seed Oils during Repeated Pan- and Deep-Frying Using GC, FT-NIRS, and Chemometrics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(42), 10357-10367. <https://doi.org/10.1021/jf503146f>

EKLER

Ek 1. Duyusal Analiz Formu

DUYUSAL ANALİZ FORMU

Ad-Soyad:

Tarih: .../.../...

Yaş:

İmza

Cinsiyet:

K

E

Değerlendirilen Özellik	Örnek Kod Numarası	
	243	197
Görünüş (genel görünüş)		
Renk (homojenlik)		
Sertlik/Yumuşaklık (el ile kontrol)		
Koku (yoğunluk, kalite)		
Gevreklik (çıtırılık-kabuk)		
Yumuşaklık (unluluk, pürüzlü yapı-iç)		
Yağlılık		
Lezzet/tat (tatmin etti mi?)		
Tüketim sonrası ağızda kalan his		
Genel kabul edilebilirlik		

Değerlendirme Kriterleri: Önünüzde 2 adet kızartma örneği var. Örneklere soldan başlayarak önce görünüşlerine bakın, sonra koklayın ve ardından verilen sıra ile her bir örneği bir kez ısırarak tek tek tadın. Örnekler arasında 1-2 yudum su ile ağızınızı temizleyin. Çizelgede yer alan özellikleri aşağıdaki ölçeğe göre değerlendirin. (5-çok fazla beğendim, 4-beğendim, 3-ne beğendim ne beğenmedim, 2-beğenmedim, 1-hiç beğenmedim.)

1 2 3 4 5



Hiç Beğenmedim

Ne Beğendim Ne
Beğenmedim

Çok Fazla Beğendim

Varsa Yorumunuz:

.....
.....



ÖZ GEÇMİŞ

Soyadı, Adı : YAVUZ, Kenan

Yabancı Dil : İngilizce

E-posta Adresi :

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi (Yıl)
Y. Lisans	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi/ Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı	2025
Lisans	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi/ Gıda Teknolojisi	2022

AKADEMİK ÇALIŞMALAR

1. PROJELER

Gıda Endüstrisi Atıklarından Elde Edilen Nanofitozomların Fonksiyonel Yemeklik Yağ Üretiminde Kullanımı, ADÜ BAP, 2021-2024.

2. BİLDİRİLER

A) Uluslararası Kongrelerde Yapılan Bildiriler

Yavuz, K., Deniz Şirinyıldız, D., Yorulmaz, A. Sıcak Havada Kızartma Teknolojisiyle Kızartılan Patateslerde 3-Monokloropropan-1,2-Diol ve Glisidil Ester Oluşumunun İncelenmesi. VI. *International Agricultural, Biological & Life Science Conference*, Edirne, Turkey, 18-20 September 2024. (Sözlü bildiri).

B) Ulusal Kongrelerde Yapılan Bildiriler

Yavuz, K., Deniz Şirinyıldız, D., Yorulmaz, A. Sıcak Havada Kızartma İşlemi ve Gıda Kalitesine Etkileri. 13. *Gıda Mühendisliği Öğrenci Kongresi*; 17-18 Mayıs 2024, İzmir. (Sözlü bildiri).