

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OMEGA-3 YAĞ ASİTLERİ İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ KAYISI
NEKTARININ FİZİKSEL VE OKSİDATİF STABİLİTESİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS

Zeynep Merve ABACI

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Sibel ULUATA

MALATYA 2020

**T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OMEGA-3 YAĞ ASİTLERİ İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ KAYISI
NEKTARININ FİZİKSEL VE OKSİDATİF STABİLİTESİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS

**Zeynep Merve ABACI
36173220002**

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Sibel ULUATA

MALATYA 2020

CANIM AİLEME...



TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca başta bu tez çalışmasında olmak üzere her zaman kıymetli bilgi, öneri ve tecrübesini esirgemedi her konuda yanımda olan ve beni her daim destekleyen değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Sibel ULUATA'ya,

Bu çalışmanın her aşamasında bilgi ve desteğini esirgemeyen kıymetli hocam Prof. Dr. Gökhan DURMAZ'a

Çalışmamın her adımında kıymetli görüşlerini benden esirgemeyerek bu çalışmanın zenginleşmesini sağlayan değerli hocam Dr. Kübra ŞİŞLİOĞLU'na,

Bu çalışmayı gerçekleştirebilmem için her türlü imkandan faydalanmamı sağlayan İnönü Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine,

Laboratuvar çalışmalarım sırasında her zaman destek olup çalışmama katkıda bulunan çalışma arkadaşlarım Şeyma KARGI, Hatice YETİŞ ve Nazan YELMER'e,

Bu tezin uygulama aşamasında FLY-2019-1348 nolu proje ile maddi olarak destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na,

Tüm yaşamım boyunca maddi ve manevi desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen, iyi ve kötü günlerimde her daim yanımda olan, bu süreçte bana her zaman sabır gösteren ve hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan sevgili ANNEME, BABAMA ve KARDEŞLERİME,

İÇTENLİKLE TEŞEKKÜR EDERİM...

ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “OMEGA-3 YAĞ ASİTLERİ İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ KAYISI NEKTARININ FİZİKSEL VE OKSİDATİF STABİLİTESİNİN BELİRLENMESİ” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Ad ve Soyadı
Zeynep Merve ABACI



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ.....	1
1. KURAMSAL TEMELLER	3
2.1. Kayısı.....	3
2.1.1. Kayısının Meyve Yapısı ve Özellikleri	3
2.1.2. Kayısı nektarı (nektar) üretimi	6
2.2. Omega-3 yağ asitlerinin yapısal özellikleri ve sağlık üzerine etkileri.....	7
2.2.1. Omega-3 Yağ Asitlerinin Gıda Kaynakları	9
2.2.2. Lipit ve lipit oksidasyonu	9
2.2.3. Antioksidan mekanizması.....	13
2.3. Emülsiyonlar.....	16
2.3.1. Nanoemülsiyonlar.....	18
2.4. Simüle Edilmiş Sindirim Koşulları Altında Emülsiyonların Davranışları ve Biyoyararlanımları.....	26
2.5. Biyoyararlanım	28
2.5.1 pH-stat yönteminin prensibi	29
2. KAYNAK ÖZETLERİ	30
3. MATERYAL VE YÖNTEM	34
4.1 Materyal.....	34
4.1.1 Araştırma materyali	34
4.1.2 Kullanılan kimyasallar.....	34
4.1.3 Kullanılan cihazlar.....	34
4.2 Yöntem	35
4.2.1 Emülsiyon hazırlama	36
4.2.2 Emülsiyonun fiziksel özellikleri.....	37
4.2.3 Kremalaşma indeksi	40
4.2.4 Omega-3 yağ asitlerince zenginleştirilmiş kayısı nektarının hazırlanması	40
4.2.5 Oksidatif stabilite testleri.....	40
4.2.6 <i>In vitro</i> sindirim testleri	41
4.2.8 Renk analizi	43
4.2.9 Duyusal analiz	43
4.2.10 İstatistiksel analizler	44

4. ARAŞTIRMA BULGULARI	45
5.1 Fiziksel stabilite.....	45
5.1.1 Partikül Boyutu, Dağılımı ve Zeta Potansiyeli.....	45
5.1.2 Termal Stabilite	47
5.1.3 İyonik şiddetin fiziksel stabilite üzerine etkisi	48
5.1.4 pH Stabilitesi	50
5.1.5 Bulanıklık (Türbidite).....	51
5.1.6 Kremalaşma indeksi	52
5.2 Oksidatif stabilite testleri.....	54
5.3 Omega-3 yağ asidi içeren emülsiyonlarda ve kayısı nektarlarında lipit sindirimi	61
5.4 Omega-3 yağ asidi içeren emülsiyon ilavesinin kayısıda bulunan β -karotenin Biyoerişilebilirliği üzerine etkisi	65
5.5 Omega-3 yağ asitlerince zenginleştirilmiş kayısı nektarlarında renk tayini	67
5.6 Omega-3 yağ asitlerince zenginleştirilmiş kayısı nektarlarında duyuşal değerlendirme	67
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	69
6. KAYNAKÇA.....	72
7. EKLER	80
8. ÖZGEÇMİŞ	82

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1: Kayısıda bulunan besin öğeleri ve enerji değeri	16
Çizelge 2.2: Partikül çaplarına göre emülsiyonlar	29
Çizelge 4.1: Balık yağı emülsiyonu (%0.5-2) içeren kayısı nektarlarının duyusal değerlendirme formu	56
Çizelge 5.1: Farklı sürfaktanlar ile stabilize edilmiş emülsiyonlar eklenmiş kayısı nektarlarının L^* , a^* , b^* ve ΔE^* renk değerleri.....	79
Çizelge 5.2: Omega-3 yağ asitlerince zenginleştirilmiş kayısı nektarlarının değerlendirme kriterlerine göre hazırlanmış grafiği.....	80

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1: Kayısı meyvesinin genel görünümü	5
Şekil 2. 2: α -linolenik asit kimyasal yapısı	7
Şekil 2. 3: Diyetle vücuda alınan LA'nın Araşidonik asite; ALA'nın ise DHA ve EPA'ya dönüşümü	8
Şekil 2. 4: (a) EPA'nın kimyasal yapısı, (b) DHA'nın kimyasal yapısı	8
Şekil 2. 5: Su içinde yağ emülsiyonlarında lipit oksidasyonu mekanizması	11
Şekil 2. 6: Hidroperoksitlerin ayrışması sonucu malondialdehit (MDA) oluşumu	12
Şekil 2. 7: Su içinde yağ emülsiyonunda damlacık modellemesi	19
Şekil 2. 8: Emülsiyon stabilitesinin bozulmasına neden olan çeşitli fizikokimyasal mekanizmalar.....	23
Şekil 2. 9: Oswald olgunlaşması küçük damlacıkların genişlemesi ile büyük damlacıkların oluşumu	24
Şekil 2. 10: Oksidasyon ve antioksidasyon mekanizmalarını etkileyebilecek yağ emülsiyonları ve yağlar arasındaki yapısal ve bileşimsel farklılıklar (Jacobsen & Nielsen, 2006).....	25
Şekil 2. 11: Suda yağ emülsiyonlarında damlacık özellikleri değiştirilerek GIS içerisindeki lipitlerin biyoerişilebilirlik oranları değiştirilebilir (McClements, 2018)	26
Şekil 2. 12: İnsan Gastrointestinal sisteminin farklı bölgelerindeki fizikokimyasal koşulların şematik gösterimi (McClements ve Li, 2010)	27
Şekil 2. 13: Santrifüj edilen dijest örneğinde meydana gelen faz farklılıkları.....	29
Şekil 4. 1: Deney planı	35
Şekil 4. 2: (a) Yağ,sülfektan ve fosfat tamponu karışımı, (b) İki aşamalı emülsiyon üretimi akım şeması, (c) Yağ ve fosfat tamponu karışımının homojenizatör ile ön emülsifiye edilmiş görünümleri, (d) Yüksek hızlı akışkanlaştırıcı (mikrofludizer) ile hazırlanmış emülsiyonlar	36
Şekil 4. 3: LM20 mikro-akışkanlaştırıcı cihazı.....	37
Şekil 4. 4: Farklı sıcaklık değerlerinde ısıl işleme tabi tutulmuş emülsiyon örnekleri	38
Şekil 4. 5: pH düzeneği ile Farklı pH değerlerine ayarlanan emülsiyon örnekleri	39
Şekil 4. 6: Farklı NaCl konsantrasyonları (100-500 mM) içeren emülsiyonlar.....	39
Şekil 4. 7: pH-stat titrasyon cihazı kullanılarak gerçekleştirilen in vitro sindirim deney düzeneği.....	42
Şekil 5. 1: T80, QS ve GA kullanılarak üretilmiş emülsiyonların fiziksel görünümü.....	46
Şekil 5. 2: T80, QS ve GA kullanılarak üretilmiş emülsiyonların ortalama ortalama partikül boyutu ve yükü.....	46
Şekil 5. 3: T80, QS ve GA kullanılarak üretilmiş emülsiyonların partikül dağılımları	46
Şekil 5. 4: Sıcaklığın T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonların ortalama partikül çapı üzerindeki etkisi	47
Şekil 5. 5: Sıcaklığın T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonların ortalama partikül yükü üzerindeki etkisi.....	48
Şekil 5. 6: NaCl konsantrasyonunun T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonların ortalama partikül çapı üzerindeki etkisi.....	49
Şekil 5. 7: NaCl konsantrasyonunun T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonların ortalama partikül yükü üzerindeki etkisi.	50
Şekil 5. 8: pH değişiminin T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonların ortalama partikül büyüklüğü üzerindeki etkisi.	51
Şekil 5. 9: pH değişiminin T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonların ortalama partikül yükü üzerindeki etkisi.	51

Şekil 5. 10: Emülsiyonların bulanıklık (türbidite) kıyasları (pH'sı 7 olan fosfat tamponu ile 1:500 kez seyreltilmiştir).....	52
Şekil 5. 11: QS ile stabilize edilen emülsiyonda NaCl konsantrasyonu değişimi ile birlikte krema oluşturma indeksi.....	53
Şekil 5. 12: GA ile stabilize edilen emülsiyonda NaCl konsantrasyonu değişimi ile birlikte krema oluşturma indeksi.....	53
Şekil 5. 13: T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonların 4 °C'de oksidasyonu süresince (a) hidroperoksit değerleri ve (b) TBARS üzerindeki etkileri.....	55
Şekil 5. 14: T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonlar eklenmiş kayısı nektarlarının 4 °C'de oksidasyonu süresince (a) hidroperoksit değerleri ve (b) TBARS değerleri.....	55
Şekil 5. 15: α-tokoferolün T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonların 4 °C'de oksidasyonu süresince (a) hidroperoksit değerleri ve (b) TBARS değerleri.....	56
Şekil 5. 16: α-tokoferolün T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonlar eklenmiş kayısı nektarlarının 4 °C'de oksidasyonu süresince (a) hidroperoksit değerleri ve (b) TBARS değerleri.....	56
Şekil 5. 17: Trolox'un T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonların 4 °C'de oksidasyonu süresince (a) hidroperoksit değerleri ve (b) TBARS değerleri.....	57
Şekil 5. 18: Trolox'un T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonlar eklenmiş kayısı nektarlarının 4 °C'de oksidasyonu süresince (a) hidroperoksit değerleri ve (b) TBARS değerleri.....	57
Şekil 5. 19: T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonların 37 °C'de oksidasyonu süresince (a) hidroperoksit değerleri ve (b) TBARS değerleri.....	58
Şekil 5. 20: T80, QS ve GA ile stabilize edilmiş emülsiyon içeren kayısı nektarlarının 37 °C'de oksidasyonu süresince (a) hidroperoksit değerleri ve (b) TBARS değerleri	58
Şekil 5. 21: α -tokoferolün T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonların 37 °C'de oksidasyonu süresince (a) hidroperoksit değerleri ve (b) TBARS değerleri.....	59
Şekil 5. 22: α -tokoferolün T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonlar eklenmiş kayısı nektarlarının 37 °C'de oksidasyonu süresince (a) hidroperoksit değerleri ve (b) TBARS değerleri.....	59
Şekil 5. 23: Trolox'un T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonların 37 °C'de oksidasyonu süresince (a) hidroperoksit değerleri ve (b) TBARS değerleri.....	60
Şekil 5. 24: Trolox'un T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonlar eklenmiş kayısı nektarlarının 37 °C'de oksidasyonu süresince (a) hidroperoksit değerleri ve (b) TBARS değerleri.....	60
Şekil 5. 25: T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonların kontrol grubu, α-tokoferol eklenmiş ve Trolox eklenmiş emülsiyonların % SYA salınımları	62
Şekil 5. 26: T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonların Kontrol (antioksidan eklenmemiş), α-tokoferol eklenmiş ve Trolox eklenmiş emülsiyonları eklenmiş kayısı nektarlarının % SYA salınımları	63
Şekil 5. 27: T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonlar ve bu emülsiyonların eklendiği kayısı nektarlarında % SYA salınımı	64
Şekil 5. 28: A- tokoferolün T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonlar ve bu emülsiyonların eklendiği kayısı nektarlarında %SYA salınımı üzerindeki etkileri.....	64
Şekil 5. 29: Trolox'un T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonlar ve bu emülsiyonların eklendiği kayısı nektarlarında %SYA salınımı üzerindeki etkileri.....	65
Şekil 5. 30: T80, QS ve GA ile stabilize edilen balık yağı emülsiyonları eklenmiş kayısı nektarlarına ait (%) biyoerişilebilirlik oranları.....	66

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

μm	: Mikrometre
nm	: Nanometre
mM	: Milimolar
μM	: Mikromolar
Ψ	: Elektriksel Yüzey Potansiyeli
ζ	: Zeta Potansiyeli
β	: Beta
α	: Alfa
w/w	: Kütlesel derişim
Dk	: Dakika
BaCl₂	: Baryum klorür
TCA	: Trikloroasetik asit
TBA	: Tiyobarbitürük asit
BHT	: Bütüllemiş hidroksi tolüen
Y/S	: Su içinde yağ
S/Y	: Yağ içinde su
pH	: Potential of Hydrogen; Hidrojen Gücü
BHT	: Bütüllemiş hidroksi tolüen
GIS	: Gastrointestinal Sistem
PV	: Peroxide Value; Peroksit Sayısı
TBARS	: Tiyobarbitürük Asit Reaktif Maddeler
LA	: Linoleik asit
ALA	: Alfa-linoleik asit
DHA	: Dokosahekzaenoik Asit
EPA	: Eikozapentaenoik Asit
UZ-ÇDYA	: Uzun zincirli çoklu doymamış yağ asidi
MDA	: Malonaldehit
T80	: Tween 80
QS	: Quillaja Saponin
GA	: Gam Arabik
SYA	: Serbest Yağ Asidi

ÖZET

Yüksel Lisans Tezi

OMEGA-3 YAĞ ASİTLERİ İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ KAYISI NEKTARININ FİZİKSEL VE OKSİDATİF STABİLİTESİNİN BELİRLENMESİ

ZEYNEP MERVE ABACI

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

81+x sayfa

2020

Danışman: Doç. Dr. Sibel ULUATA

Bu çalışmada %1 Tween 80, Quillaja Saponin ve Gam Arabik surfaktanları ile %5 omega-3 yağ asitleri kullanılarak mikroakışkanlaştırıcı yardımı ile su içinde yağ (Y/S) emülsiyonları hazırlanmıştır. Ayrıca antioksidan madde (α - tokoferol, trolox) etkisi de araştırılmıştır. Öncelikle emülsiyonların fiziksel stabiliteleri; pH, sıcaklık ve iyonik şiddeti etkisi ile belirlenmiştir. Daha sonra emülsiyonlar, ticari formülasyonuna uygun şekilde hazırlanan kayısı nektarına ilave edilerek oksidatif stabiliteleri 4 ve 37 °C’de yapılmıştır. Ayrıca, bu örneklerde renk ve duyusal analizleri yapılmıştır. Son olarakta simule in vitro ince bağırsak sisteminde serbest yağ asidi (SYA) salınımı ve β -karoten biyogeçişliliği belirlenmiştir. Emülsiyonların partikül boyutlarının 125-542 nm ve partikül yüklerinin -12,8 ile -69,1 mV aralığında olduğu belirlenmiştir. 4 °C de emülsiyon ve kayısı nektarında peroksit sayısı (PV) oksidasyon süresince 1mM’ın altında belirlenmiştir. İkincil bozulma ürünü olarak belirlenen TBARS ise emülsiyon örneklerinde 20.günden itibaren artmaya başlarken, kayısı nektarında 30.güne kadar daha yavaş bir şekilde artmıştır. 37°C’de ise emülsiyon örneklerinde PV ve TBARS değerlerinde 1. günden itibaren artış gözlemlenirken kayısı nektarında her iki değerde de önemli bir artış görülmemiştir. Trolox içeren örnekler daha iyi bir oksidatif stabilite göstermiştir. In vitro sindirim testlerinde; emülsiyonların % SYA salınımları arasında önemli bir fark görülmezken, kayısı nektarlarında %SYA salınımları yaklaşık 2 kat azalmıştır. Omega-3 yağ asidi içeren kayısı nektarlarının renk ve duyusal analiz değerlerinin kabul edilebilir seviyede olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak omega-3 yağ asitlerince zenginleştirilmiş fonksiyonel bir ürün olan kayısı nektarının iyi bir fiziksel, oksidatif stabiliteye sahip olduğu, %SYA salınımı azalttığı ve β -karoten biyogeçişliliğini arttırdığı belirlenmiş olup, bu ürünün tüketiciler tarafından kabul edilebilir seviyede olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Omega-3 Yağ Asitleri, Emülsiyon, Oksidatif Stabilite, Biyogeçişlilik

ABSTRACT

Master Thesis

DETERMINATION OF PHYSICAL AND OXIDATIVE STABILITY OF APRICOT JUICE ENRICHED WITH OMEGA-3 FATTY ACIDS

Zeynep Merve ABACI

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Food Engineering

81+x sayfa

2020

Supervisor: Assoc. Dr. Sibel ULUATA

In this study, oil-in-water (O/W) emulsions were prepared with 1% Tween 80, Quillaja Saponin, Gum Arabic surfactants and 5% omega-3 fatty acids by using microfluidizer. Also, the effect of antioxidant substance (α -tocopherol, trolox) has been investigated. Firstly, the physical stabilities of the emulsions were determined by the effect of pH, temperature and ionic strength. Then, emulsions were added to the apricot nectar prepared in accordance with its commercial formulation, and their oxidative stability was examined at 4 and 37 °C. In addition, color and sensory analyzes were performed in these samples. Finally, free fatty acid (FFA) release and β -carotene bioaccessibility were determined in the simulated in vitro small intestine system. It has been determined that the particle sizes of the emulsions are between 125-542 nm and the charges of particles were between -12.8 and -69.1 mV. Peroxide value (PV) in emulsion and apricot nectar at 4 °C was determined under 1mM during oxidation. TBARS, which is determined as the product of secondary deterioration, while started to increase from the 20th day in the emulsion samples, it increased more slowly in the apricot nectar until the 30th day. At 37 °C, there was an increase in PV and TBARS values from day 1, whereas the emulsion samples showed no significant increasing in apricot nectar. Samples containing trolox showed better oxidative stability than the other samples. *In vitro* digestion tests; while there was no significant differences between FFA % releasing of emulsion samples, FFA % releasing in apricot nectars was approximetly 2 times lower than from emulsion samples . It has been determined that the color and sensory analysis values of apricot nectars containing omega-3 fatty acids were in acceptable level. As a result, it was determined that apricot nectar, which is a functional product enriched with omega-3 fatty acids, has a good physical, oxidative stability, decreases FFA% releasing and increases β -carotene bioavailability, and this product was found to be acceptable to consumers.

Keywords: Omega-3 Fatty Acids, Emulsion, Oxidative Stability, Bioaccessibility

1. GİRİŞ

Günümüz tüketim toplumunun artan bilinç düzeyi ile yaşam kalitesini arttırmaya yönelik fonksiyonel ve takviye edici gıdalara eğilimleri giderek artmaktadır. Dünya genelinde yaşam kalitesini arttırmayı hedefleyen çalışmalar incelendiğinde, günlük diyetle mümkün olduğunca yağ tüketiminin sınırlandırılarak, kolesterol ve trans yağ asitlerinden kaçınılması, doymuş yağ alımının mümkün olduğunca azaltılıp çoklu doymamış yağ asidi alımının artırılması gerekliliği vurgulanmaktadır. Çoklu doymamış yağ asitlerinden özellikle Omega-3 yağ asitleri ve türevlerinin (dokosaheksaenoik asit ve eikosapentaenoik asit) sağlığa yararları ile ilgili birçok bilimsel çalışma yapılmıştır (Walker vd., 2015). İnsan vücudu tarafından üretilmeyen ve sağlık için elzem olan Omega-3 çoklu doymamış yağ asitlerinin en önemli kaynakları olan balık ve balık yağı tüketimi son yıllarda artmış olsada hala tüketim seviyeleri sağlıklı bir yaşama kavuşmak için yetersizdir. Buna ek olarak çoklu doymamış yapıları nedeniyle Omega-3 yağ asitleri çok çabuk okside olup bozulma eğilimi göstermektedirler (Haahr ve Jacobsen, 2008). Bu durum günlük gereksinimin karşılanabilmesi için alternatif çözümler üretmeyi zorunlu kılmıştır. Bundan dolayı gıdaların Omega-3 yağ asitleri ve benzeri çoklu doymamış yağ asitleri ile zenginleştirilmesi için yapılan çalışmalar son yıllarda oldukça popülerdir (Din vd., 2008). Gıdaları Omega-3 yağ asitlerince zenginleştirmek için kullanılan birçok yöntemlerden biride emülsiyon sistemleridir.

Emülsiyon sistemleri gıda endüstrisinde kullanılan oldukça elverişli sistemlerdir. Bu sistemler sayesinde yağ ve/veya yağda çözünür bileşikleri sulu gıdalara dâhil etmek mümkün olmaktadır. Emülsiyon sistemleri arasında özellikle küçük partikül boyutuna ($d < 500$) sahip nanoemülsiyon sistemleri kullanılarak Omega-3 yağ asidi ile takviye edilmiş gıdaların sayısının artırılabilmesi mümkün görünmektedir. Son yıllarda yapılan araştırmalar, emülsiyonların çevresel faktörlerin yanı sıra hidroperoksitlerin yoğun olarak bulunduğu ve lipit tabakası ile suda çözünür bileşenlerin etkileşime girdiği emülsiyon damlacıklarını çevreleyen arayüzey tabakasının bileşiminden de etkilendiğini ortaya koymaktadır (Haahr ve Jacobsen, 2008). Lipitlerin emülsiyon sistemlerindeki oksidatif dayanımını arttırmak için lipofilik özellikteki antioksidan bileşikler kullanılmaktadır. Lipofilik karakterdeki antioksidan bileşikler lipitlerde çözünerek lipit oksidasyonunu engellemeye yardımcı olur. Yağda çözünen antioksidan maddelerin vücuda alınmasında lipitlerin varlığı şarttır. Lipofilik özellikteki antioksidan bileşikleri emülsiyon sistemlerine ekleyerek antioksidanların insan vücudundaki biyoyararlanımları artırılabilir.

Bu çalışmada yüksek basınçlı mikro-akışkanlaştırıcı kullanılarak farklı sürfaktan maddelerle hazırlanmış Omega-3 yağ asidi emülsiyonlarının çevresel koşullar değiştirildiğinde (sıcaklık, pH, iyonik şiddet) fiziksel stabiliteleri araştırılmıştır. Bu emülsiyonlar antioksidanlar ve diyet lifleri bakımından oldukça zengin olan kayısı nektarına ilave edilerek oksidatif stabiliteleri incelenmiş ve duysal özellikleri araştırılmıştır. Ayrıca simüle edilmiş gastrointestinal sistemdeki lipit emülsiyonlarının serbest yağ asidi (SYA) salınımının kayısı nektarı varlığında nasıl etkilendiği ve kayısıda bulunan β -karotenin biyogeçişliliğinin lipit varlığında değişimi araştırılmıştır.



1. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Kayısı

Elverişli toprak ve iklim özelliklerine sahip olan ülkemizde ekonomik olarak katkısı bulunan birçok meyve yetişmektedir. Anavatanı Orta Asya olan kayısı (*Prunus armeniaca* L.) renk, tat, aroma bakımından hoş gitmesiyle bu meyve türleri arasından nispeten daha çok tercih edilmektedir (Alpaslan ve Hayta, 2006). Kayısı coğrafik olarak Dünya'nın çeşitli bölgelerinde yetiştiriciliği yapılsa da daha çok Akdeniz'e yakın olan ülkelere, Kuzey Afrika, Orta Asya, Amerika ve Avrupa kıtalarına yayılmış ve buralarda iklim isteklerinin elverişli olduğu bölgelerde yetişme alanları bulmuştur (Topcu, 2010). Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Organizasyonu (FAO) istatistiksel veri tabanına göre; 2018 yılı için Dünya kayısı üretim miktarı 3.838.523 ton'dur. Kayısı anavatanı ülkemiz olmamasına karşın, Anadolu'nun farklı iklim koşullarına uyum sağlamış bir meyve türüdür. Dünya kayısı üretiminde yaklaşık %24'lik pay ve 846.606 tonluk üretimle, Türkiye ilk sırada yer alarak lider konumdadır. (FAO, 2020 ; TUİK, 2020). Türkiye'nin en önemli kayısı yetiştiren bölgesi Doğu Anadolu'dur (Topcu, 2010 ; Özbek, 1978). Özellikle bu bölgede yer alan Malatya ili, taze kayısıların % 50'si ve kuru kayısıların %90'ının yetiştiriciliği, üretimi ve işlenmesi ile ülkenin en önemli kayısı üretim merkezidir (Asma vd., 2007; Betül vd., 2008). TUİK 2020 verilerine göre 2019 yılında Malatya'da 391.801 ton yaş kayısı üretimi gerçekleşmiştir.

Dünyada üretilen kayısıların yaklaşık %15-20'si taze tüketilmekte ve geri kalanı başta kurutma olmak üzere, dondurma, reçel, konserve, meyve suyu ve püre gibi çeşitli ürünlere işlenmektedir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2017; Topcu, 2010). Ülkemizde yetiştirilen kayısıların büyük çoğunluğu taze, kurutulmuş ve konserve olarak tüketilmektedir. Bunların yanı sıra kayısı çoğunlukla meyve suyu sanayisinde işlenmektedir (Ulusal Kayısı Çalıştayı Raporu, 2014). Kayısı nektarı ve püresinin en yaygın kullanım alanı bebek mamalarıdır; bunun yanında, meyveli içeceklerin, pastacılık ürünlerinin, çeşitli süt ürünlerinin, tatlı ve atıştırmalık ürünlerin bileşiminde de yer almaktadır (Siddiq vd. 2012).

2.1.1. Kayısının Meyve Yapısı ve Özellikleri

Kayısı; dirençli bir endokarp, etli bir mezokarp ve en dışta eksokarp yapılarından oluşan, üzerinde tüyler bulunan, sarı/turuncu renkli, drupa tipi (eriksi) bir meyvedir (Şekil 2.1) (Valley vd. 2003). Meyve fiziksel görünüşü olarak sırt, karın, uç ve sap kısımlarından

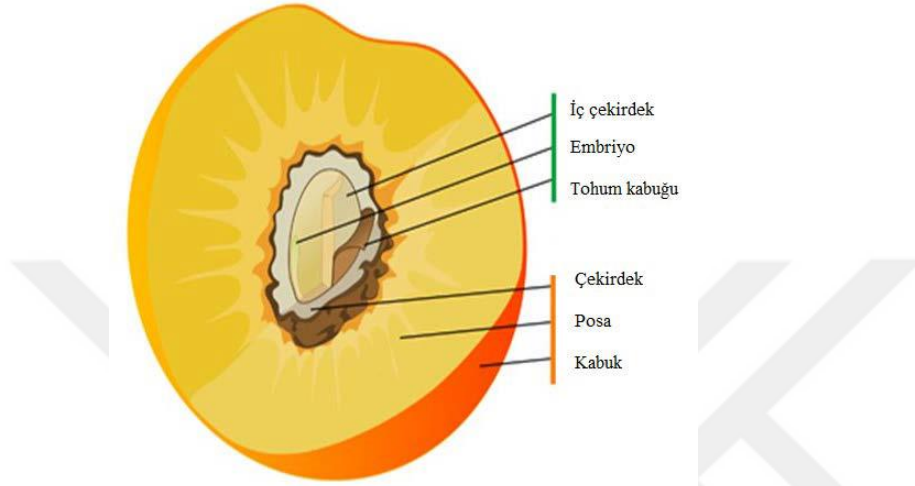
ve anatomik yapı olarak da en dış kısmında kabuk, meyve eti, çekirdek boşluğu ve çekirdekten oluşmaktadır. Kayısı; açık sarıdan turuncu renge kadar değişen geniş bir renk aralığına sahiptir.

Çizelge 2.1 100 g kayısıda bulunan besin öğeleri ve enerji değeri (USDA, 2019).

Bileşen	Miktar	Birim
Su	86.35	g
Enerji	48	kcal
Protein	1.4	g
Toplam lipit(yağ)	0.39	g
Karbonhidrat	11.12	g
Lif, toplam diyet lifi	2	g
Şekerler	9.24	g
Kalsiyum, Ca	13	mg
Demir, Fe	0.39	mg
Magnezyum, Mg	10	mg
Fosfat, P	23	mg
Potasyum, K	259	mg
Sodyum, Na	1	mg
Çinko, Zn	0.2	mg
Bakır, Cu	0.078	mg
Selenyum, Se	0.1	µg
Vitamin C, toplam askorbik asit	10	mg
Tiamin	0.03	mg
Riboflavin	0.04	mg
Niasin	0.6	mg
Vitamin B-6	0.054	mg
Folik asit, toplam	9	µg
Kolin, total	2.8	mg
Vitamin A,	96	µg
Karoten, beta	1094	µg
Karoten, alpHa	19	µg
Kriptoksantin	104	µg
Lutein + zeaksantin	89	µg
Vitamin E (alfa-tokoferol)	0.89	mg
Vitamin K	3.3	µg
Yağ asitleri, toplam doymuş	0.027	g

Kayısı meyvesi oval, yuvarlak, eliptik veya kalp şekillidir. Kayısı meyvesinin kabuğu, sarı renk zemine sahip olup üzerinde az veya çok kırmızı/turuncu renkli ince

yapıdadır. Meyve eti sarı veya turuncumsu, yumuşak, diğer eriksi meyvelere kıyasla daha az sulu, tatlı, çekirdeğine tam veya yarım yapışık haldedir (Abacı, 2007). Tohum iriliği çeşide göre değişir. Şekil itibariyle yassı, üzeri az pürüzlü, krem renkli; çeşide göre tatlı veya acıdır. Tohum ağırlığı 2-3 g arasında değişir. Meyveler, yaklaşık 20-80 gr ağırlığında olup, suda çözünebilir kuru madde oranı %10 - 28 arasında olan, pH'ı 3-5, asitliği %0.2-1.5 arasında değişen bir yapıdadır (Cengiz, 2011).



Şekil 2. 1: Kayısı meyvesinin genel görünümü

Kayısı besinsel olarak şeker, lif, mineraller ve A, C, riboflavin, niyasin, pantotenik asit gibi vitaminler ve biyoaktif fitokimyasallar açısından oldukça zengin bir kaynaktır (Çizelge 2.1) (Ali vd., 2011; Raj vd., 2012; Ruiz vd., 2005). Kayısı, A vitamini aktivitesi gösteren β -karoten açısından da zengin bir kaynaktır. Karotenoidler meyve ve sebzelerde bulunan lipitte çözünür besinler arasında yer alır. Karotenoidler kardiyovasküler hastalıklara yakalanma riskinin azaltılmasını sağlayan önemli bir antioksidan görevi görmekle beraber birçok sağlık yararı sağlayan fonksiyonel bir bileşiktir. Antioksidatif etkileri sayesinde diyetle alındıklarında canlı sistemleri oksidatif hasardan etkili bir şekilde koruyabildikleri tespit edilmiştir (Ali vd., 2011). Bununla birlikte birçok meyve ve sebze de aynı işlevi gören β -karoten, kayısı meyvesinin sarı ve kırmızı tonlarında değişen rengini veren yaygın bir renk pigmentidir. Ayrıca kayısıda bulunan diyet liflerinin safra asitlerini bağlayarak ve çeşitli gıda fraksiyonlarının emilimini önleyici etki göstererek kolesterolü düşürdüğü bilinmektedir (Kahlon ve Smith, 2007). Kayısı, diğer meyvelerle kıyaslandığında daha az enerji ve protein içeriğine sahip olsada insan sağlığı açısından önemli bir besindir. Yapısının yaklaşık %85'i sudan oluşmaktadır. Kayısı meyvesi olgunlaştıkça asit miktarında azalış, şeker miktarında ise artış gözlenmektedir. Kolay metabolize olan gluktoz, fruktoz gibi şekerlerin yanı sıra pentozlar ve pektinler gibi

karbonhidrat bileşiklerini de yapısında bulundurmaktadır. Kayısındaki protein içeriğinin %60'ını serbest aminoasitler oluşturmaktadır (Cengiz, 2011).

2.1.2. Kayısı nektarı (nektar) üretimi

Meyve suları sağlıklı temiz ve taze meyvelerin mekanik işlemlerden geçirilmesi ile elde edilerek fiziksel yollarla dayanıklılığı artırılan fermente olmamış fakat fermantasyona uğrayabilen içeceklere denir (Cemeroğlu, 2013). Meyve suyu, meyvenin renk, tat, koku gibi çeşitli özelliklerini gösterir. Buna karşın meyve nektarı, meyve oranı hammadde durumuna göre çeşitli oranlarda asit, şeker ve su ilave edilerek üretilen fermente olmamış bir içecektir. Meyve nektarı, çeşitli meyvelerden; meyve suyu konsantresi, meyve püresi ve meyve suyu karışımlarıyla elde edilmektedir. Meyve oranı hammaddenin niteliğine göre %25-99 arasında değişmektedir (Cemeroğlu, 2013).

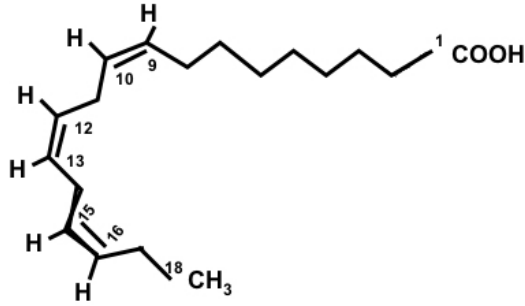
Meyve suyuna işlenecek kayısıların yüksek şeker içeriğine sahip ve aromasının baskın olması meyve suyunun kalitesini belirleyen ana unsurlardır. Meyvedeki şeker/asit oranı ve buna bağlı olarak tat ve aromasının kalitesini meyvenin olgunluk oranı belirlemektedir. Meyvenin şeker ve aroması olgunlaşma ilerledikçe artış göstermektedir. Bununla birlikte fazla olgunlaşmış meyveler meyve asitliği, C vitamini içeriği ve tüketim değerini yitirebilir (Kabir ve Sidhu, 2012).

Meyve suyu üretiminde kullanılacak kayısılar yıkanarak fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik kirlilerden arındırılırlar. Yıkama işlemini ayırma işlemi takip etmektedir. Ayırma işlemiyle kayısı yabancı madde, sap, yaprak ve çöpler ile meyve suyu işleme prosesine uygun olmayan kayısılardan arındırılan kayısılar parçalama işlemine tabi tutularak püre (pulp) haline getirilir. Parçalanmış meyve “mayşe” olarak adlandırılır. Mayşeye elde edilmek istenen son ürünün niteliğine ve kullanılacak hammaddenin özelliklerine göre farklı işlemler uygulanır. Meyve suyu; berrak ve bulanık tip olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Berrak meyve suyu üretiminde, durultma ve filtrasyon işlemi uygulanırken; bulanık tip meyve suyu hazırlanmasında ise istenilen meyve suyu çeşidine göre değişmekle birlikte şeker şurubu, sitrik asit, askorbik asit eklenmektedir. Bulanık meyve suyu üretiminde filtrasyon işlemi uygulanmamaktadır (İzci, 2019).

Kayısı mayşesi, parçalama işlemiyle açığa çıkan enzimlerin etkisiyle renk değişimleri meydana gelebilmektedir. Parçalamadan sonra meyve püresi bekletilmeden hemen işleme tabi tutularak enzimatik renk değişimi mümkün olduğunca engellenebilmektedir (Kabir ve Sidhu, 2012).

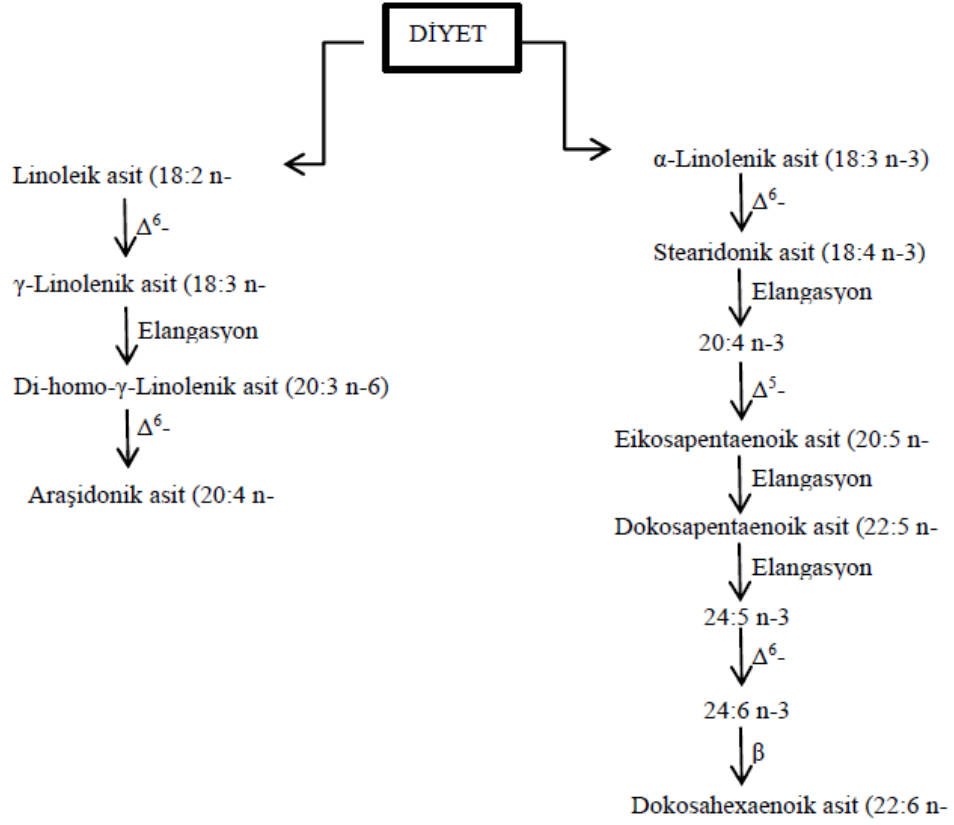
2.2. Omega-3 yağ asitlerinin yapısal özellikleri ve sağlık üzerine etkileri

Lipitler genellikle gıdaların lezzetini arttırmak için eklense de insan diyetinde ihtiyaç duyulan enerji, ihtiva ettikleri esansiyel yağ asitleri, ve yağda çözünür besin öğelerini sağlayan önemli makro besinlerdendir (Verrijssen vd., 2015). İnsan vücudunda bulunan lipitler, diyetle dışarıdan alınarak ya da karaciğer tarafından üretilmektedirler. Ancak linoleik asit (LA) (18:2 n-6) ve α -linolenik asit (ALA) (18:3 n-3) (Şekil 2.2) insan vücudu tarafından üretilemedikleri için elzem yağ asitleri olarak tanımlanmaktadır (Gropper, vd., 2005). Bunlar Omega-6 ve Omega-3 yağ asitleri olarak da bilinirler. ALA, Omega-3 yağ asitlerinin kaynağını oluşturmaktadır. ALA üç çift bağ içeren on sekiz karbonlu bir yağ asididir. Yapısında bulunan ilk çift bağ metil grubuna en yakın üçüncü karbondadır (C18:3n-3). Memeliler, bitkilerde bulunan desatüراز enziminden yoksun olduklarından bu çift bağı sentezleyemezler. Bu nedenle ALA diyetle alınması gereken zorunlu bir yağ asididir (Gropper, vd., 2005).

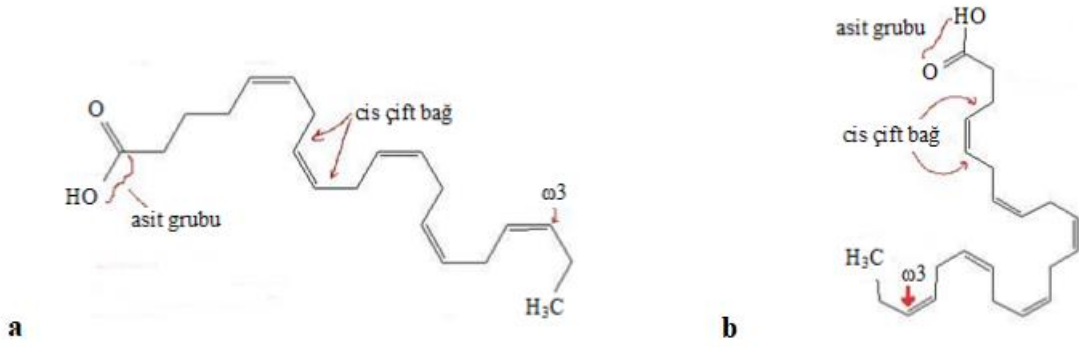


Şekil 2. 2: α -linolenik asit kimyasal yapısı

Diyetle tüketilip vücuda alındıktan sonra desatürasyon ve elongasyon ile öncüllerinden daha uzun ve daha doymamış olan yağ asitlerine dönüşürler. LA'nın en yaygın türevi Araşidonik asittir. ALA ise DHA (Dokosapentaenoik asit) ve EPA'ya (Eikosapentaenoik asit) dönüşür (Şekil 2.3) (Deckelbaum ve Torrejon, 2012). ALA'nın vücuda alınarak EPA ve DHA'ya dönüştürülmesi insan diyetinde güvenilir bir Uzun Zincirli- Çoklu Doymamış Yağ Asidi (UZ-ÇDYA) kaynağı olarak kabul edilmez. Yağ asidi dönüşümlerinin çoğu enerji olarak kullanıldığından uzama ve desatürasyon işlemleri yetersiz kalmaktadır (Deckelbaum ve Torrejon, 2012). Vücuttaki bu yetersiz UZ-ÇDYA üretimi ihtiyacı karşılayamayacağından, Omega-3 tüketirken ALA'dan daha önce EPA ve DHA'ya dönüşmüş olarak tüketilmesi daha yararlı olmaktadır (Walker, 2015).



Şekil 2. 3: Diyetle vücuda alınan LA'nın Araşidonik asite; ALA'nın ise DHA ve EPA'ya dönüşümü (Çelebi vd., 2017)



Şekil 2. 4: (a) EPA'nın kimyasal yapısı, (b) DHA'nın kimyasal yapısı

EPA'nın kardiyovasküler hastalıkları önlenmesinde önemli bir yeri olduğu, DHA'nın ise beyin ve sinir sistemi gelişimi için gerekli olduğu yıllardır bilinmektedir (Patch ve Brown, 2008; Walker, 2015). EPA ve DHA ayrıca astım, kistik fibroz ve romatoid artrit gibi enflamatuar hastalıkların önlenmesi ve olası tedavisi ile de ilişkilidir. (Tur vd., 2012; Ruxton vd., 2004). DHA, insan sinir sisteminde yüksek miktarda bulunduğu için sinir sistemi hastalıklarıyla ilişkilendirilmiştir (Ruxton vd., 2004). Annenin balık tüketimiyle doğru orantılı olarak Omega-3 yağ asitlerinin, bebeklerde beynin gelişimi ve çalışması, yüksek zeka katsayısı (IQ) ve görme keskinliği arasında bağlantı olduğu bulunmuştur

(Ruxton vd., 2004; Helland, Smith, vd., 2003). Bu bulgular, DHA tüketiminin hamile kadınlar için potansiyel önemini vurgulamaktadır. Ayrıca Omega-3 yağ asidi tüketiminin, dikkat eksikliği, hiperaktivite bozukluğu, Alzheimer hastalığı ve Demans dahil olmak üzere zihinsel sağlık durumları ile bağlantısı bulunmuştur (Ruxton vd., 2004). Omega-3 yağ asitlerinin anti-enflamatuar etkileri, hastaların ameliyattan sonra iyileşmelerine yardımcı olabilir (Walker, 2015). Ayrıca Omega-3 yağ asitleri, Düşük Yoğunluklu Lipoprotein (LDL) miktarının azalması ve Yüksek Yoğunluklu Lipoprotein (HDL) miktarının artırılarak kan lipit profilinde olumlu etkiler sağlanmasında önemli rol oynarlar (Tur vd., 2012; Pottel vd., 2014; Din vd., 2008).

2.2.1. Omega-3 Yağ Asitlerinin Gıda Kaynakları

Omega-3 yağ asitleri; balık, krill, algler ve bitkisel birçok kaynaktan bulunmaktadır. Omega-3 çeşidi ve miktarı kaynaklara göre farklılık göstermektedir. Omega-3 yağ asitleri bitkisel kaynaklı olarak keten, soya, kanola tohumu ve cevizde ALA formunda bulunmaktadır (Deckelbaum ve Torrejon, 2012; Tur, Bibiloni, Sureda, ve Pons, 2012). Özellikle balık yağı, EPA ve DHA gibi uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitleri açısından çok zengin bir kaynaktır (Maki vd., 2014). Krill yağı, balık yağından daha yüksek oranda EPA ve DHA içerir fakat elde edilme maliyeti yüksektir. Bu nedenle genellikle gıda takviyesi olarak kullanılırlar (Deckelbaum, 2007). Bununla birlikte algler Omega-3 yağ asitlerini üretmek için birincil kaynak sayılırlar. Algler yüksek miktarda DHA üretirken, EPA seviyeleri balık yağlarına göre düşüktür (Deckelbaum ve Torrejon, 2012; Maki vd., 2014).

Balık yağında bulunan EPA ve DHA miktarı balığın çeşidi, yılın av zamanı, balığın beslenmesi ve buldukları coğrafyaya bağlı olarak değişebilir. Açık deniz balıkları ve soğuk su balıkları EPA ve DHA açısından zengin içeriğe sahiptir. Deniz balıklarının EPA ve DHA seviyeleri ile toplam yağ miktarları arasında doğru bir orantı vardır (Walker, 2015). Balık, toksinlerin ve kirleticilerin biyo-birikimine duyarlıdır. Bu kirleticilerden en yaygın olanları cıvadır (Deckelbaum, 2007). Bu yüzden tam balık tüketmek yerine alternatif deniz kaynakları kullanılarak ya da balık yağı tüketerek bu toksinlerin alımından kaçınılabılır (Kennedy vd., 2012).

2.2.2. Lipit ve lipit oksidasyonu

Lipitler gıda ve biyolojik sistemlerin önemli bileşenleridir. Gıda işleme ve depolamanın herhangi bir aşamasında ve ayrıca canlı organizmalarda fizyolojik ve / veya

patofizyolojik koşullar altında meydana gelebilecek oksidasyona duyarlıdır (Shahidi ve Zhong, 2011). Lipitler yağda çözünen vitaminleri (A, D, E ve K) taşıma görevi yapmakla beraber, hormon benzeri aktivite gösteren ve birçok vücut fonksiyonunun düzenlenmesinde rol oynayan, eikosonoidlere metabolize edilen linoleik ve linolenik asitler gibi esansiyel yağ asitlerini içerirler. (Akoh ve Min, 2017)

Lipit oksidasyonu, yağ ve yağ içeren gıdalardaki oksidatif bozulmanın başlıca nedenlerinden biridir (Akoh ve Min, 2017; Coupland ve McClements, 1996; Frankel, 1991). Gıda endüstrisi için ekonomik bir endişe kaynağıdır, çünkü bu durum yiyecekleri daha az kabul edilebilir kılmakta, yenilebilir yağlarda ve yağ içeren gıdalarda oksidatif ransidite adı verilen çeşitli aroma, renk ve kokuların yanı sıra potansiyel olarak toksik ürünlerin oluşmasına neden olmaktadır (McClements, 2005; Frankel vd., 1982; Von Beust ve Travlos, 2017; Walker, 2015).

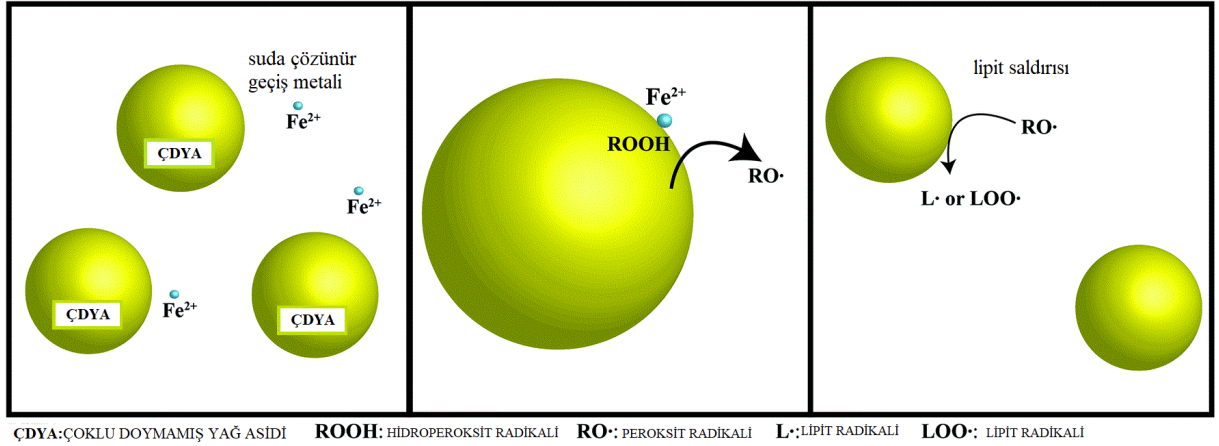
Lipitlerin oksidasyonu, serbest radikal zincir mekanizmasıyla moleküler oksijen ile reaksiyona giren doymamış yağ asitlerinin, genellikle peroksitler veya oksidasyonun birincil ürünleri olarak adlandırılan hidroperoksitler oluşturduğu oldukça karmaşık bir işlemdir (Ladikos ve Lougovois, 1990). Birincil oto-oksidasyonu, lipitin bozunmasına ve oksidatif ransiditenin gelişmesine yol açan bir dizi ikincil reaksiyon izler (Frankel ve Regional, 1908).

Lipit oksidasyonu gıdada lezzet bozulması, besin değeri ve güvenliği kaybı, biyolojik hasar, yaşlanma, fonksiyonel özellik değişiklikleri ve çevre kirliliği gibi birçok olumsuz etki oluşturmaktadır (Ladikos ve Lougovois, 1990; Suja vd., 2005; Wettasinghe ve Shahidi, 1999)

2.2.2.1. Oto-oksidasyon mekanizması

Çoklu doymamış yağ asitleri içerdikleri çift bağlarındaki hidrojenin karbon ile yaptığı bağın enerjisinin tekli bağlara göre daha düşük olmasından dolayı oksidasyona doymuş yağ asitlerine göre daha elverişlidir (Frankel ve Regional, 1908). Lipit oksidasyonu kısaca, doymamış yağ asitlerinin serbest radikalleri ile oksijen arasında gerçekleşen bir reaksiyondur (Şekil 2.5). Serbest radikal zincir reaksiyonu olarak da adlandırılan lipit oto-oksidasyon tepkimesi henüz etki mekanizması tam olarak çözülmemekle birlikte üç aşamada gerçekleşir; başlatma/ indüksiyon, ilerleme ve sonlandırma (Shahidi ve Zhong, 2011; Walker, 2015). Buna ek olarak, başlatma, yayılma ve sonlandırma aşamaları boyunca ısı, ışık, oksijen, enzimler, geçiş metalleri,

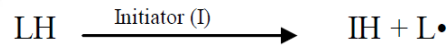
metalloproteinleri ve / veya mikroorganizmalar gibi başlatıcıları içerir (Shahidi ve Zhong, 2011).



Şekil 2. 5: Su içinde yağ emülsiyonlarında lipit oksidasyonu mekanizması (Walker, 2015)

Başlangıç (*Initiation*) aşaması:

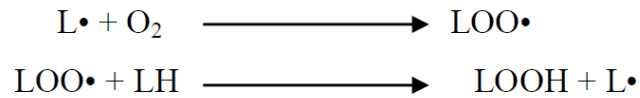
Serbest radikallerin oluştuğu aşamadır.



I başlatıcı faktördür ve metal iyonları, ısı, protein radikalleri gibi başlatıcıların varlığında LH olarak adlandırılan doymamış lipitten hidrojen molekülünü çekerek lipit radikalini (L•) oluşturur.

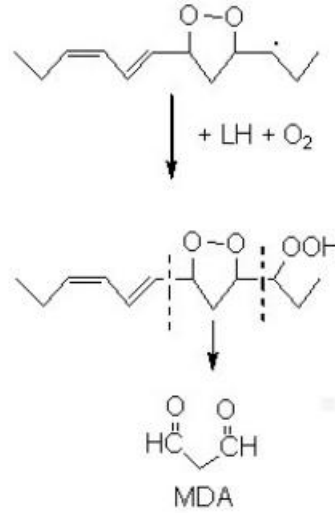
İlerleme (*propagation*) aşaması:

Hidroperoksitlerin meydana geldiği aşamadır.



Kararsız bir hidrojen içeren doymamış lipitin alkil radikalı (L•), oksijen ile çok hızlı bir şekilde reaksiyona girerek peroksil radikalini (LOO•) oluşturur ve bu peroksil radikalı başka bir doymamış yağ asidi ile reaksiyona girerek hidroperoksit radikalini (LOOH) oluşturur. Yeniden oluşan lipit alkil radikalı (L•) ortamdaki başka bir oksijen atomu tepkimeye girer ve zincir reaksiyon başlamış olur. Düşük uçuculukları nedeniyle tatsız ve kokusuz olan lipit hidroperoksitler, oto-oksidasyonun başlıca ürünleridir ve birincil oksidasyon ürünleri olarak adlandırılırlar (Jacobsen ve Nielsen, 2006). Hidroperoksitlerin

ayrışması sonucu daha küçük moleküler yapıdaki malondialdehit (MDA) ve 4-hidroksi-nonenal aldehitler dahil olmak üzere ketonlar, alkoller ve asitler gibi ikincil oksidasyon ürünleri oluşur (Şekil 2.6) (Ramasarma, 2014). MDA ve ilgili aldehitler, lipid peroksidasyonunun en yaygın olarak tahmin edilen ürünleridir (Ramasarma, 2014).

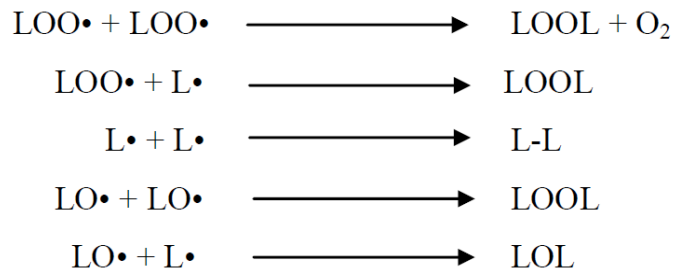


Şekil 2. 6: Hidroperoksitlerin ayrışması sonucu malondialdehit (MDA) oluşumu

Oksidasyondan sonra gıdalarda oluşan ve istenmeyen lezzet ve koku veren uçucu oksidasyon ürünleri ikincil oksidasyon ürünleridir (Uluata, 2010).

Sonlandırma (*termination*) aşaması:

Bu son adımda radikal olmayan ürünler meydana gelir.



Oto-oksidasyon, iki serbest radikal birleşene ve zincir reaksiyonunu sona erdirmek için radikal olmayan bir ürün (LOOL, LOL, L-L) oluşturana kadar devam eder (Frankel, 2012). Bu radikal olmayan ürünlerin tatları yoktur (Frankel, 2012).

2.2.2.2. Lipit oksidasyonu belirleme yöntemleri

2.2.2.2.1. Peroksit değeri

Peroksit değeri, lipit oksidasyonunun derecesinin bir göstergesi olarak kullanılabilir. Peroksit değeri (PV), kararsız olan ve esas olarak uçucu aldehit bileşiklerinin karışımlarını oluşturmak için kolayca ayrışan birincil oksidasyon ürünleri olan hidroperoksitler ile ilgilidir (Decker ve Shantha, 1994; Ramadan, 2004).

Oksidasyon sonucunda oluşan lipit hidroperoksitlerin ortama ilave edilen Fe^{2+} iyonlarını Fe^{3+} e yükseltmesi ve bu iyonun tiyosiyonatla oluşturduğu kırmızı-mor renkli kompleksin absorbansının 510 nm de spektrofotometrik olarak ölçülmesi temeline dayanmaktadır. Klasik iyot serbest bırakma yöntemine göre daha hassas bir yöntemdir. Hidroperoksit miktarı kümene hidroperoksit cinsinden mmol/kg yağ, mM, mg /kg yağ vb. birimlerde ifade edilebilmektedir.

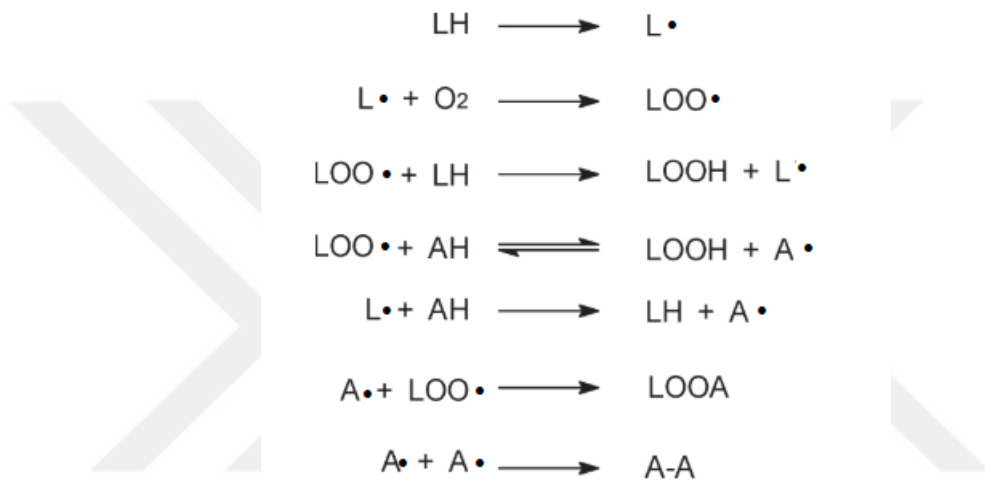
2.2.2.2.2. Tiyobarbitirik (TBARS) metodu

Çoklu doymamış yağ asitlerinin oksidasyonunun ikincil bir nihai ürünü olan malondialdehit (MDA) oluşumu, genel lipit peroksidasyonunun faydalı bir indeksi olarak kabul edilir (Hodges, Delong, Forney ve Prange, 1999). Tiyobarbitirik asitle reaktif maddeler (TBARS) deneyi olarak adlandırılan analiz yöntemi MDA'yı ölçmek için yaygın yöntemdir (Ramasarma, 2014). MDA ve diğer aldehitleri, sıcaklığın etkisiyle tiyobarbitirik asit (TBA) ile pembe renkli bir çözelti oluşturur (Ramasarma, 2014). Oluşan bu renkli çözelti 532 nm'de maksimum absorbans değerini verir. TBA değeri, “ mili eşdeğer gram MDA/kg yağ ” cinsinden ifade edilir (R. Guillén-Sans, 2010). TBARS testi 40 yıl önce önerilmiştir ve şu anda lipit oksidasyonu ölçümünde en yaygın kullanılan yöntemdir (Ramasarma, 2014).

2.2.3. Antioksidan mekanizması

Antioksidanlar; tanım olarak çok az miktarda bulunsalar dahi ortamdaki okside olabilir bileşenlerin (lipit, protein, karbonhidrat, nükleik asit vb.) oksidasyonunu engelleyen veya geciktiren aktif bileşiklerdir (Becker vd., 2004; Durmaz, 2002; Ramadan ve Moersel, 2006). Antioksidanlar oksidasyonu iki şekilde inhibe edebilir ya da geciktirebilirler. Bunlardan birincisi serbest radikalleri süpürenlerdir. Bu tip antioksidanlar primer antioksidan olarak adlandırılır. İkinci grup ise serbest radikallerin doğrudan atılmasıyla değil oksidasyon hızını zayıflatarak etki gösterirler ki bunlarda sekonder antioksidanlar olarak adlandırılırlar (Gülçin, 2012).

Birincil antioksidanlar, bir elektronunu sistemde bulunan serbest radikale bağışlar. Daha sonra alkil radikalleri ile reaksiyona girer ve kendisini aktif olmayan bir radikale (A•) çevirerek etki gösterir. Böylece hidroperoksit oluşumunu durdurur ve zincir reaksiyonunu önler (Jacobsen ve Nielsen, 2006; Yeşiltaş, 2013). İkincil antioksidanlar ise metal iyonlarının bağlanması, reaktif oksijen türlerinin süpürülmesi, UV radyasyonunun emilmesi, hidroperoksitlerin radikal olmayan türlere dönüştürülmesi gibi çeşitli mekanizmalar ile çalışır (Gülçin, 2012; Yeşiltaş, 2013). İkincil antioksidanlar genellikle birincil antioksidanlarla birlikte sinerjistik etkiler göstererek çalışırlar (Jacobsen ve Nielsen, 2006).



Antioksidanların aktiviteleri sadece yapısal özelliklerine bağlı değil aynı zamanda konsantrasyon, sıcaklık, ışık seviyesi, substrat tipi, fiziksel durum gibi diğer birçok faktöre de bağlıdır (Gülçin, 2012). Ayrıca antioksidanların etkinliği, oksidasyon koşulları, oksidasyonu belirlemek için kullanılan yöntemler ve oksidasyon seviyesiyle de ilişkilendirilir (Frankel, 2012). Antioksidanlar tarafından serbest radikallerin inhibisyonu ile oksidasyonun önlenmesi, çoklu doymamış lipidlerin oksidatif bozulmaya karşı korunmasında oldukça büyük öneme sahiptir. ABD başta olmak üzere birçok ülkede gıda sistemlerinin lipid oksidasyonunu inhibe etmek ve gelişimini yavaşlatmak için Bütillenmiş hidroksianisol (BHA), bütillenmiş hidroksitoluen (BHT), propil gallat (PG) ve tertbütillhidrokinon (TBHQ) gibi sentetik antioksidanlar doğal antioksidanlara kıyasla daha ucuz oldukları için sıklıkla kullanılmaktadır. Fakat bu sentetik katkı maddelerinin kullanımını azaltmak veya önlemek için doğal antioksidanların kullanımına ayrı bir önem verilmektedir. Özellikle bitkisel gıdalarda bulunan önemli doğal antioksidanların varlığı ile ilgili çalışmalar giderek artmaktadır (Frankel, 2012).

Doğal antioksidanlar, organizma tarafından sentezlenir veya dışarıdan besinle alınırlar. Bu antioksidanların en önemli kaynağı meyve ve sebzelerdir. İnsan vücudunda sentezlenmeyen önemli doğal antioksidanlar; karotenoidler, fenolik bileşikler, antioksidan vitaminler (vitamin A, C), antioksidan minerallerdir.

Karotenoidler sebze ve meyvelerde yaygın olarak bulunarak sarı, turuncu ve kırmızı renk veren doğal renk pigmentleridir. Suda erimez, genel olarak yağda erirler (Cemeroğlu, 2013). Karotenoidler, metil gruplarına eklenen konjuge çift bağları bulunduran doymamış bir alifatik zincir yapısındadırlar. Karotenoidler canlı sistemlerde lipoproteinler ile taşınırlar. Karotenoidlerin sağlığa yararı ile ilgili yapılan birçok çalışmada özellikle kalp rahatsızlıklarını azaltıcı etki gösteren antioksidanlar oldukları belirlenmiştir. En önemli karotenoidler özellikle domateste bolca bulunan, sıcaklığa karşı dayanıklılığı yüksek olan ve kalp hastalıkları, tip 2 diyabet gibi rahatsızlıkları önleyici etkisi bulunan likopendir. Bitkilerdeki sarıdan kırmızıya değişen renklerden sorumlu, A vitamininin öncülü olarak görev yapabilen ısıya ve oksijene karşı oldukça hassas olan β -Karoten ve yeşil bitkilerde bolca bulunan retinadaki ana pigment ise lutein'dir (Kasnak ve Palamutoğlu, 2015; Rao, 2004; Landrum vd., 1996).

Fenolik bileşikler hemen hemen tüm meyve sebzelerde bulunsalar da miktar olarak meyvelerde sebzelerden daha fazla bulunmaktadır. Meyve sebzelerin renkleri ve lezzetleri (buruk tat) üzerinde etkilidirler. Ayrıca fenolik bileşikler polifenol oksidaz enzimleriyle enzimatik renk esmerleşmeye neden olan önemli bir madde grubudur. Flavanoidler, flavonoller (kateşinler), antosiyaninler, proantosiyaninler ve fenolik asitler önemli fenolik bileşiklerdendir (Cemeroğlu ve Acar, 1986; Kasnak ve Palamutoğlu, 2015)

Tokoferoller, kimyasal olarak E vitamini etkisi gösteren lipofilik bileşiklerdir. Tokoferoller içerisinde E vitamini aktivitesi en yüksek olan α - tokoferoldür. Ayrıca α -tokoferol, serbest radikallerin süpürülmesi ve tekli oksijenin süpürülmesinde görev alarak antioksidan etki gösterir. Serbest radikal üreten ultraviyole ışınları ve radyasyon gibi faktörlere karşı koruyucu etki gösterirler. Lipit peroksidasyonunun önlenmesinde rol alarak oksitleyici ajanların neden olabileceği kalsiyum kayıplarına karşı kemikleri korurlar (Kasnak ve Palamutoğlu, 2015).

Askorbik asit yaygın bilinen adı ile vitamin C insanlarda hastalıklara yol açabilecek potansiyeldeki birçok bileşeni (süperoksitler, hidroksil radikali, peroksit radikali, nitrozaminler vb.) okside edebilmektedirler. Askorbik asit kolajen sentezinde, metal

iyonlarının metabolize edilmesinde görev alır. Çinko, selenyum, bakır gibi mineraller de antioksidatif etki gösteren doğal antioksidanlardandır (Kasnak ve Palamutoğlu, 2015).

2.3. Emülsiyonlar

Birbiri içinde karışmayan iki ya da daha fazla sıvının birbiri içinde küresel damlacıklar halinde dağılmasıyla oluşan kolloidal sistemlere emülsiyon adı verilir (Akoh ve Min, 2017; Coupland ve McClements, 1996). Çoğu gıdada, damlacıkların çapları genellikle 0.1 ila 100 µm arasında bir yerde bulunur. Bu kolloidal sistemler hidrofilik (suyu seven) ve lipofilik (yağı seven) iki fazdan oluşur. Bu iki fazdan emülsiyon içinde damlacıklar halinde dağılan iç faz (dispers faz), diğeri dış faz (sürekli faz) olarak adlandırılır (McClements, 2005).

Emülsiyonlar yağ ve su fazının birbiri içindeki nispi dağılımlarına göre sınıflandırılırlar. Sulu bir fazda dağılmış yağ damlacıklarından oluşan sistemler su içinde yağ emülsiyonları (Y/S) olarak adlandırılır. Süt, krema, soslar, içecekler ve çorbalar günlük hayatta sıkça karşılaştığımız su içinde yağ emülsiyonlarıdır (Coupland ve McClements, 1996; McClements, 2005). Yağ fazında dağılmış su damlacıklarından oluşan sistem ise yağ içinde su emülsiyonları (S/Y) olarak adlandırılırlar. Margarin ve tereyağı yağ içinde su emülsiyonları için en bilinen örneklerdir.

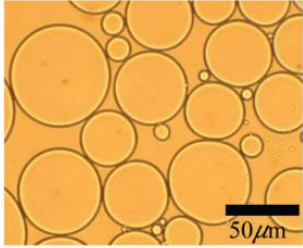
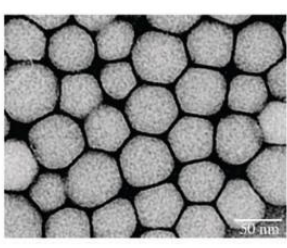
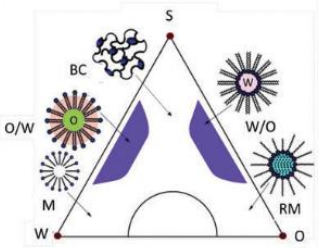
Birbiri içinde karışmayan sıvıların emülsiyona dönüşmesini veya halihazırdaki bir emülsiyondaki damlacık boyutunun küçültülmesi işlemine homojenizasyon denilmektedir. Emülsiyonlar, yüksek enerjili (yüksek hızlı karıştırıcılar, yüksek basınç homojenizatörleri, mikrosıvılaştırıcılar, sonifikatörler gibi) ve düşük enerjili (spontane emülsifikasyon, membran emülsifikasyonu gibi) yöntemler kullanılarak hazırlanabilir. Yüksek enerji yöntemlerinde, mekanik cihazlar gerekli büyük yıkıcı kuvvetleri sağlar. Diğer yandan, düşük enerjili yöntemlerde, harici bir kuvvete gerek yoktur (McClements, 2005).

Yağ ve su fazları birlikte homojenize edilerek bir emülsiyon oluşturulabilir. Fakat damlacıklar komşu damlacıklar ile çarpıştığında birleşme eğilimi gösterir ve bir süre sonra faz ayrımının olması kaçınılmazdır. Bu durum, yağ ve su molekülleri arasındaki polarite farkı ile açıklanmaktadır. Bu yüzden emülsiyon sistemleri, termodinamik olarak stabil olmayan sistemlerdir (McClements, 2005). Emülsiyonların stabilitesini istenilen süre sabit tutabilmek ancak sürfaktanlar ile mümkün olmaktadır. Sürfaktanlar, homojenizasyon işlemi sonucunda oluşturulmuş damlacıkların yüzeyinde koruyucu bir zar gibi işlev

görerek damlacıkların birleşmesini engelleyici özellik gösterirler (Boon vd., 2008; McClements, 2005). Emülsiyonlara, fizikokimyasal ve mikrobiyolojik stabiliteyi artırmak için koruyucu maddeler; tat ve koku düzenleyiciler de ilave edilebilmektedir (Yılmaz, 2019).

Partikül boyutlarına göre emülsiyonlar; makroemülsiyonlar, nanoemülsiyonlar ve mikroemülsiyonlar olmak üzere sınıflandırılırlar. Çizelge 2.2 'de partikül çapına göre sınıflandırılan emülsiyonların bazı özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.2: Partikül çaplarına göre emülsiyonlar (Gupta vd., 2016)

	makroemülsiyonlar	nanoemülsiyonlar	mikroemülsiyonlar
			
boyut	1-100 µm	20-500 nm	10-100 nm
şekil	küresel	küresel	küresel, laminar
stabilite	termodinamik olarak stabil değil, düşük kinetik stabiliteye sahip	termodinamik olarak stabil değil, kinetik stabiliteye sahip	termodinamik olarak stabil
hazırlama metodu	yüksek ve düşük enerjili metod	yüksek ve düşük enerjili metod	yüksek enerjili metod
polidispersite	genellikle yüksek (>40%)	genellikle düşük (<10-20%)	genellikle düşük (<10%)

Makroemülsiyonlar olarak adlandırılan geleneksel bir emülsiyon, 100 nm ile 100 µm arasında ortalama yarıçapa sahip parçacıklardır. Bu tip emülsiyonlar termodinamik olarak kararsızdır, yani ayrılan su ve yağ fazlarının serbest enerjisi emülsiyonun kendisinden düşüktür. Sonuç olarak makroemülsiyonlarda zaman içinde faz ayrımı söz konusudur. Makroemülsiyonlar optik olarak bulanıktır ya da bulanık olma eğilimindedir.

Nanoemülsiyonlar, çok küçük parçacıklar, yani yaklaşık 20-500 nm arasındaki ortalama yarıçap içeren geleneksel bir emülsiyon olarak düşünülebilir. Nanoemülsiyonlar transparan görünür, çünkü parçacık boyutu ışığın dalga boyundan (400-700 nm) daha

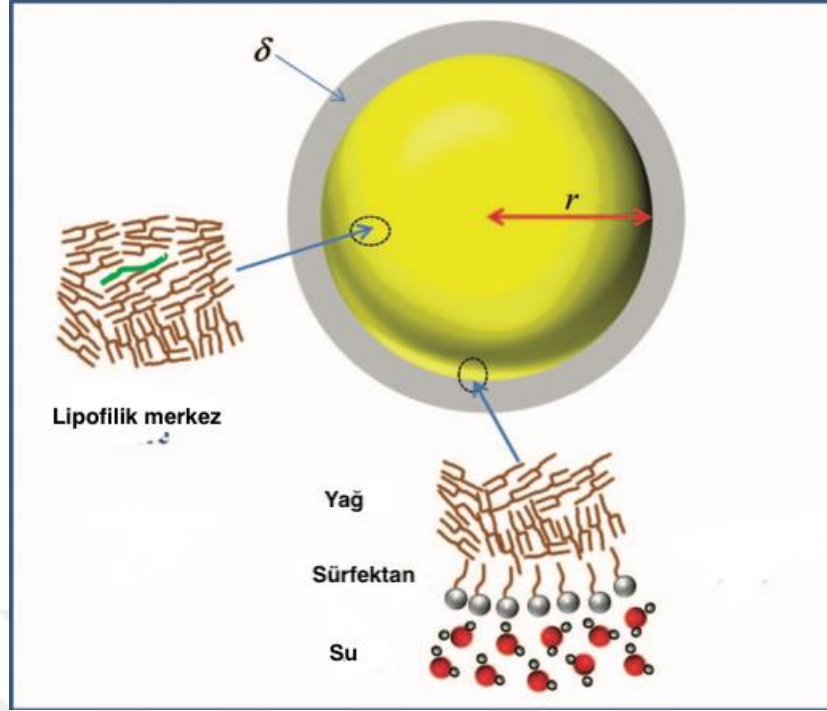
küçüktür ve bu nedenle ışığı sadece zayıf bir şekilde dağıtırlar. Nanoemülsiyonlar genellikle partikül agregasyonu ve yerçekimi ayrılmasında makroemülsiyonlara göre daha iyi stabiliteye sahiptir (Izquierdo vd., 2002). Bununla birlikte, bu sistemler hala termodinamik olarak kararsızdır ve zaman içinde bozulma eğilimi göstereceklerdir. Fakat bunların aksi şişmiş miseller olarak da adlandırılabilen mikroemülsiyonlar 2 ila 100 nm arasında yarıçapa sahip olup termodinamik olarak kararlı sistemlerdir. Yine de mikroemülsiyonların termodinamik olarak kararlı olması sadece belirli koşullar (örn. bileşim ve sıcaklık) altında mümkündür. Koşullar ortadan kaldırıldığında stabilite bozulma eğilimindedir fakat koşullar tekrar sağlandığında ise tekrar stabil olması beklenir.

Emülsiyonlar genellikle mikroemülsiyonlardan daha büyük damlacıklar içerir ve bu nedenle ışığı daha güçlü saçar ve daha bulanık veya bulutlu görünürler. Fakat son zamanlarda, nanoemülsiyonların da optik olarak transparan hazırlanabildiği gösterilmiştir (McClements ve Rao, 2011; Piorkowski ve McClements, 2014). Emülsiyonların ve nanoemülsiyonların önemli bir avantajı, bunları formüle etmek için gerekli olan sürfaktan-yağ oranının, mikroemülsiyonlar için gerekenden genellikle çok daha düşük olması ve sentetik yüzey aktif maddeler yerine doğal içeriklerden (proteinler ve polisakkaritler gibi) formüle edilebilmeleridir (Piorkowski ve McClements, 2014).

2.3.1. Nanoemülsiyonlar

Nanoemülsiyonlar, hazırlanma kolaylığı, küçük partikül boyutu, nispeten yüksek stabilite ve yüksek biyoyararlanım nedeniyle giderek daha popüler hale gelen emülsiyon esaslı uygulama sistemleri sınıfıdır (Acosta, 2009; McClements, 2013). Gıda endüstrisinde nanoemülsiyon oluşumların en önemli odak noktası, nano yapıdaki çeşitli biyoaktif maddeleri (Omega-3 yağ asitleri, aroma maddeleri vb) kapsülleyerek korumak, salınımlarını kontrol etmektir (Acosta, 2009; McClements vd., 2007; Waraho, McClements ve Decker, 2011).

Omega-3 yağlarını enkapsüle etmek için en uygun olan emülsiyon çeşidi su içinde yağ emülsiyonlarıdır. Bir Y/S nanoemülsiyonundaki parçacıkların, lipofilik malzemeden yapılmış bir çekirdek ve sürfaktan malzemeden yapılmış bir kabuk ile bir çekirdek kabuk tipi yapıya sahip olduğu düşünülebilir (Şekil 2.7) (McClements ve Rao, 2011). Küçük parçacıklar içine hapsedilmiş lipofilik biyoaktif bileşiklerin biyoyararlanımı genellikle büyük parçacıklardan daha yüksektir.



Şekil 2. 7: Su içinde yağ emülsiyonunda damlacık modellemesi (McClements ve Rao, 2011)

Nanoemülsiyonlardaki yağ fazı; esansiyel yağlar, polar olmayan bileşenler, trigliseroller, serbest yağ asitleri, aromatik yağlar, vitaminler, çeşitli lipofilik bileşenler (örn. karetenoidler, fitisterol vb.) gibi yağda çözünen birçok bileşiği bünyesinde bulundurabilir (McClements ve Rao, 2011). Yağ fazının fizikokimyasal özellikleri (polaritesi, suda çözünürlüğü, viskozitesi, refraktif indeksi, yoğunluğu, kimyasal stabilitesi, arayüzey gerilimi ve faz davranışı) nanoemülsiyonun oluşumu ve stabilitesi üzerine doğrudan rol oynar (Anton, Gayet, Benoit, ve Saulnier, 2007; Anton ve Vandamme, 2009; Izquierdo vd., 2002). Örneğin, uzun zincirli yağ asitleri (LCT); nispeten düşük polarite, yüksek arayüzey gerilimi ve yüksek viskoiteye sahip olduklarından bunlarla nanoemülsiyon hazırlamak daha zordur (McClements ve Rao, 2011; Palamakula ve Khan, 2004). Bu durumda, nanoemülsiyon üretimi için gereken çok küçük damlacıkları oluşturmak için geleneksel homojenizasyon yöntemlerini değiştirmek veya optimize etmek gerekmektedir. Ayrıca Ostwald olgunlaşmasını önlemek için olgunlaşma inhibitörleri ekleyerek veya birleşme önlemek için emülsiyon tipini değiştirerek alternatif stratejiler geliştirilebilir (McClements ve Rao, 2011).

Nanoemülsiyonları hazırlamak için kullanılan su fazı, tipik olarak öncelikle sudan oluşur. Fakat aynı zamanda yardımcı çözücüler (basit alkoller ve polioller gibi), karbonhidratlar, proteinler, mineraller, asitler ve bazlar da dahil olmak üzere çeşitli diğer

polar bileşenler içerebilir (McClements ve Rao, 2011). Su fazı kompozisyonuna dikkat edilerek, nanoemülsiyonların oluşumunu optimize etmek veya stabilitesini arttırmak mümkündür (McClements, 2005; McClements ve Rao, 2011). Nanoemülsiyonların pH, iyonik güç, ısıtma, soğutma veya uzun süreli depolama gibi çevresel streslere karşı kararlılığı çoğunlukla kullanılan sürfaktan tipine göre belirlenir.

2.3.2.1. Sürfaktanlar

Sürfaktanlar emülsiyon damlacıklarının yüzeyinde absorblanarak, damlacık parçalanmasını kolaylaştıran ve damlacıkların kümeleşmesini engelleyen yüzey aktif moleküllerdir (McClements, 2005). Tanım olarak sürfaktanlar; su içinde yağ veya yağ içinde su emülsiyonlarını stabilize etmekte kullanılan hem hidrofilik, hem de hidrofobik bölgeler bulunduran moleküllerdir. İdeal bir sürfaktanın ürünün imalat, nakliye, depolama ve kullanım sırasında karşılaştığı çevresel koşullar altında damlacık birikmesini (topaklanma ve / veya birleşme) önleyen bir zar (arayüzey) oluşturması genellikle önemlidir (McClements ve Rao, 2011). Gıda endüstrisinde çoğunlukla küçük moleküllü sürfaktanlar ile fosfolipitler, proteinler ve polisakkaritler gibi büyük molekül ağırlıklı sürfaktanlar kullanılmaktadır. Küçük moleküllü sürfaktanlar için yüksek enerjili ve düşük enerjili homojenizasyon tekniklerinin her ikisi de uygundur. Proteinler ve polisakkaritler gibi büyük molekül ağırlıklı sürfaktanlar için ise düşük enerji ile homojenizasyon yöntemleri uygun değildir. (McClements, 2005; McClements ve Rao, 2011).

Doğal sürfaktanlar genel olarak sterik ve elektrostatik etkileşimler yoluyla lipit damlacıklarının agregasyonunu engellerler. Bu kolloidal etkileşimlerin gücü, sürfaktan tabakasının kalınlığına, kimyasına ve yüküne bağlıdır (McClements ve Gümüş, 2016). Doğal sürfaktanlardan biri olan Quillaja saponin, Quillaja saponaria adıyla bilinen bir ağaçtan izole edilmiş küçük moleküllü amfifilik bileşenlerdir. Çoğunlukla alkolsüz içeceklerde ve emülsiyon bazlı sistemlerde stabilizatör ve köpük oluşturucu olarak kullanılırlar. Saponinler çeşitli çevre koşullarında (sıcaklık, pH, iyonik güç) oldukça stabil özellik gösterdikleri için gıda sanayiinde sıkça kullanılmaktadırlar. Küçük damlacık boyutlarına sahip stabil nanoemülsiyonlar oluşturmada etkilidirler (Öztürk vd., 2014). Gıda endüstrisinde kullanılan en yaygın doğal sürfaktanlardan biri de gam arabiktir. Amfifilik yapısı sayesinde yağ damlacık yüzeyine absorbe olarak polipeptit zinciri ile yağ fazına, polisakkarit zincirleri ile de su fazına tutunurlar. Emülsiyon damlacığında kalın bir hidrofilik katman oluşturmaları sayesinde güçlü bir sterik itmeye sahiptirler. Bu sayede

agregasyona karşı iyi bir stabilite sağlarlar (McClements ve Gümüş, 2016). Ayrıca gıda arabik bağırsak enzimlerine karşı dirençli ve nişasta yapısında olmayan, polisakkarit yapısında ve kısa zincirli yağ asitlerinin salınımında görev alan bir diyet lifi olarak da tanımlanabilir (Patela & Goyalb, 2014).

2.3.2.2. Nanoemülsiyonların fiziksel özellikleri

2.3.2.2.1. Partikül boyutu

Gıda emülsiyonlarının fizikokimyasal özellikleri içerdikleri partiküllerin özelliklerinden önemli derecede etkilenmektedir (McClements, 2005). Partikül boyutu, emülsiyonların stabilitesi, reolojik ve optik özellikleri, duyu özellikleri ve salınım özellikleri üzerine etkilidir (Güngör, Zungur, Koç ve Kaymak-Ertekin, 2013). İstenilen özelliklere sahip ürünler oluşturabilmek için; damlacıkların büyük çoğunluğunun önceden tahmin edilen boyut aralığında olması gerekmektedir. Partikül boyutu küçüldükçe kremalaşma, sedimentasyon gibi emülsiyonun stabilitesini bozan olaylar azalmakta oluşturulan emülsiyonun stabilitesi artmaktadır. Partikül boyutunu küçültmek için yağ fazı kompozisyonu, sürfaktan çeşidi ve konsantrasyonu, arayüzey gerilimi, sürekli ve dispers fazın viskoziteleri, sıcaklık, karıştırma hızı gibi faktörler optimize edilmelidir. Bütün bunların yanı sıra homojenizasyon işleminin süresini ve etkinliğini arttırarak partikül boyutunu küçültmek mümkündür (McClements, 2005). Emülsiyonların ortalama damlacık boyutları ve damlacık boyutu dağılımları dinamik ışık saçılımı tekniği ile ölçülmekte ve partikül çapı nanometre (d.nm) cinsinden ifade edilmektedir (Güngör vd., 2013).

2.3.2.2.2. Partikül yükü

Birçok gıda emülsiyonu iyonik yüzey aktif cisimleri, proteinler veya polisakkaritler gibi iyonlaşabilir yüzey aktif bileşenlerin adsorpsiyonu nedeniyle elektrik yükü olan damlacıklar içerir (McClements, 2005). Kullanılacak sürfaktan madde seçimi ile emülsiyonların elektriksel özelliklerini belirlemek mümkündür. Damlacıkların elektrik yükü; elektrostatik etkileşimlerinin büyüklüğü, yönü ve işareti üzerindeki etkisi nedeniyle topaklaşmalara karşı emülsiyon stabilitesini olumsuz etkiler. Ayrıca emülsiyon, bulunduğu ortamdaki zıt yükler ile etkileşime girebilir. Damlacıklar depolama kapları, şişeler, kaplar ve ağız gibi elektrik yüklü yüzeylerle etkileşime girebilir. Bütün bunlara ek olarak elektroforez kullanarak damlacıkların yükleri ölçülmek istendiğinde elektrik alanlarındaki

damlacık davranışını etkiler. Bu nedenlerden dolayı emülsiyon içerisindeki yağ damlacıklarının elektrik yükü önemlidir (McClements ve Rao, 2011).

Bir emülsiyondaki damlacıkların elektriksel özellikleri genellikle yüzey yük yoğunluğu (σ), elektrik potansiyeli (Ψ) ve / veya z potansiyeli (ζ) bakımından karakterize edilir (Piorkowski ve McClements, 2014). Yüzey yük yoğunluğu, birim yüzey alan başına birim elektrik yükü sayısıdır. Yüzey elektrik potansiyeli, çevreleyen ortam boyunca yüzeylere sonsuz bir mesafeden yükler getirerek yüzey yük yoğunluğunu sıfırdan σ 'ya yükseltmek için gerekli olan serbest enerjidir. Bir damlacık yüzeyindeki elektiriksel özellikler; mevcut iyonize türlerin tipine, bu iyonize türlerin konsantrasyonuna ve organizasyonuna, su fazının iyonik bileşimine ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak değişir (Piorkowski ve McClements, 2014). Zeta potansiyeli (ζ) ise emülsiyon ortamında askıda kalan partikülün etkili yüzey potansiyelidir. Damlacığı çevreleyen ortamdaki yüklerin damlacık yüzeyine absorbe olabileceğini ve net yükün değişebileceğini hesaba alarak ölçüm yapan bir yöntemdir. Emülsiyon damlacıklarının yükü ile etrafında bulunan yüklü bileşiklerin etkileşimi hakkında bilgi vermesi bakımından önemlidir (Şişlioğlu, 2019). Bir emülsiyon içindeki damlacıkların elektriksel karakteristikleri, ζ -potansiyelinin pH'ya karşı uygun ölçüm koşulları altında (iyonik kompozisyon gibi) ölçülmesi ile belirlenir (McClements, 2005).

2.3.2.2.3 Nanoemülsiyonların stabilitesi

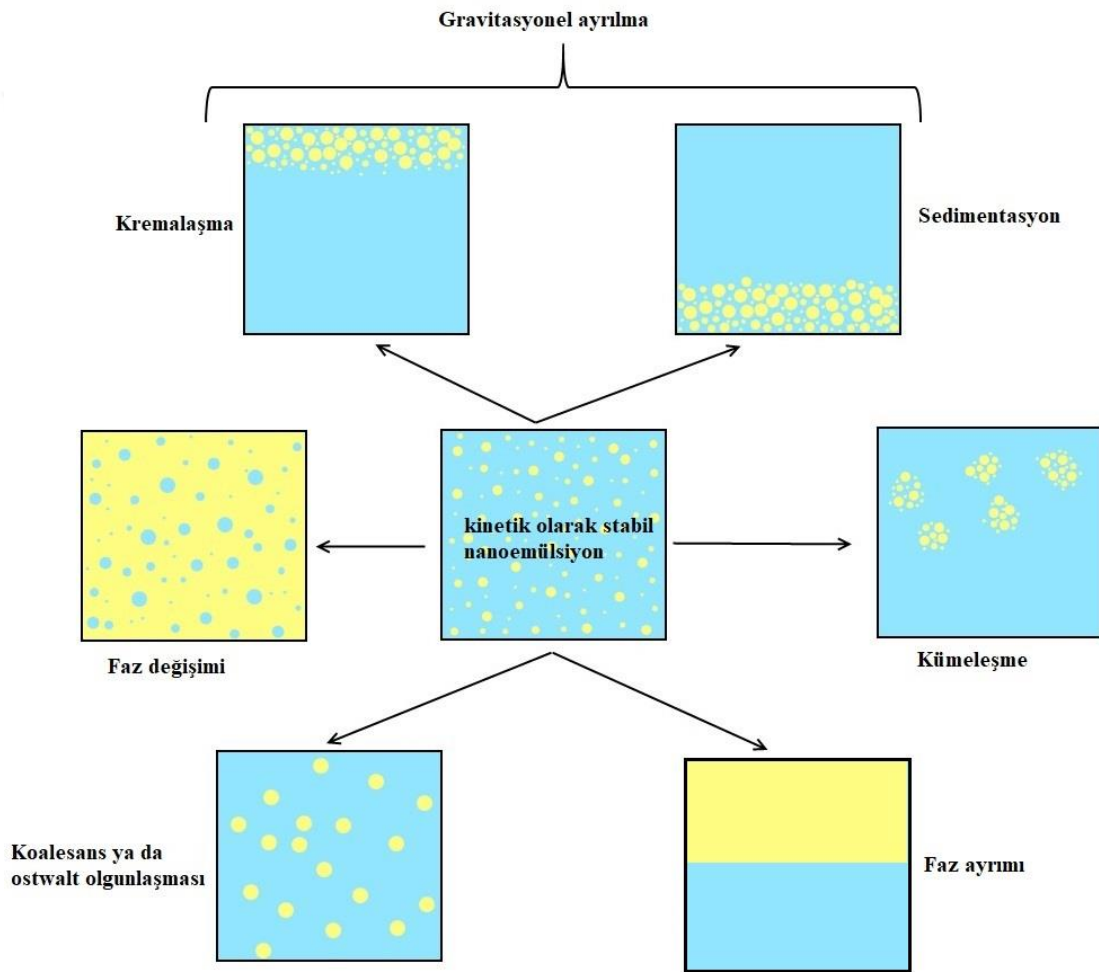
Emülsiyonun zaman içinde özelliklerindeki değişikliklere direnme yeteneğine "emülsiyon stabilitesi" denir. Nanoemülsiyonların fiziksel stabilitesi raf ömrünü, görünüşünü, işlevselliğini ve tüketicilere kabul edilebilirliğini etkiler.

Emülsiyon ne kadar stabilse özellikleri de o kadar yavaş değişir (McClements, 2005). Stabil olmayan nanoemülsiyonlar; gravitasyonel ayrılma, flokülasyon, koesans ve Ostwald olgunlaşması olarak adlandırılan çeşitli fiziksel olayların gelişmesine eğilimlidirler (Şekil 2.8). Oksidasyon ve hidroliz ise nanoemülsiyonlardaki kimyasal dengesizliklere örnektir. Bir emülsiyonun stabil kalması için gereken süre, gıda ürününün doğasına bağlıdır.

Gıda emülsiyon sistemlerinde en yaygın olarak görülen stabilite sorunu gravitasyonel ayrılma değildir. Yağ ve su fazlarının yoğunluk farkına bağlı olarak gelişen gravitasyonel ayrılma iki şekilde görülmektedir; kremalaşma ve sedimentasyon. Su içinde yağ emülsiyonlarında emülsiyon damlacıkları yukarı doğru hareket etme eğilimindedirler ve bu

olaya kremalaşma denilmektedir. Yağ içinde su emülsiyonlarında ise su damlacıkları yoğunluk farkından dolayı aşağı yöne hareket eder bu olay da sedimentasyon olarak adlandırılır (McClements, 2005).

Bir emülsiyonun su içinde yağ tipinden yağ içinde su tipine dönüşmesine veya tam tersine, faz dönüşümü (inversiyonu) denilmektedir. Faz dönüşümü, emülsiyonun hazırlanması sırasında iki fazın karıştırılması, ısıtılması ve emülsiyonun soğutulması gibi etkenlerden etkilenebilmektedir. Ayrıca emülsiyon pH'sının zamanla değişimi; su ve yağ oranlarının değiştirilmesi emülsiyona başka bir madde eklenmesi ile de faz dönüşümü meydana gelebilir (McClements, 2005).

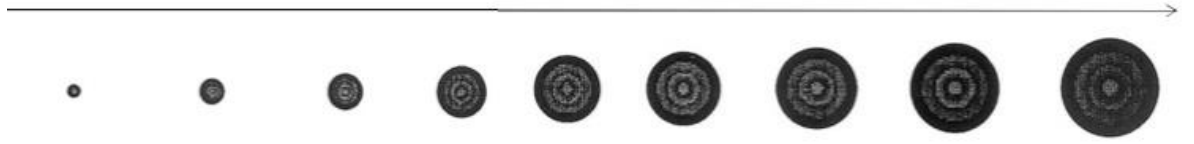


Şekil 2. 8: Emülsiyon stabilitesinin bozulmasına neden olan çeşitli fizikokimyasal mekanizmalar

İki ya da daha fazla emülsiyon damlacığının birbiri ile bütünleşmesinin birbirine bağlanmasıyla gerçekleşen olaya kümeleşme (flokülasyon) denilmektedir (McClements, 2005). İç faz damlacıklarının geri dönüşümlü agregasyonu olarak da tanımlanabilirler (Güngör vd., 2013). Flokülasyonda sürfaktan miktarı emülsiyon damlacıklarının

bireyselliğinin korunmasına yetecek miktardadır. Flokülasyon düşük viskoziteye sahip olması istenen gıda ürünlerinde istenmeyen kalite kayıplarına sebep olabilirken; kontrol edilebilir düzeyde gerçekleşen flokülasyon arzu edilen tekstürel yapının oluşmasına neden olması sebebiyle avantajlı olabilmektedir (McClements, 2005).

Koelesans; iki ya da daha fazla emülsiyon damlacığının biraraya gelerek daha büyük bir emülsiyon damlacığına dönüşmesine verilen isimdir. Küçük damlacıkların elektriksel bariyerlerinin yeterli olmaması sebebiyle büyük damlacıklar oluşmaktadır. Sürfaktan miktarının yetersizliği gibi arayüzeydeki korumanın eksik oluşu durumlarda emülsiyon damlacıkları hızla topaklanır ve koalesansa uğrarlar (Güngör vd., 2013). Koelesans sonucunda partiküllerde kremalaşma ve sedimentasyon hızlanır ve en nihayetinde faz ayrımı gerçekleşir (McClements, 2005). Kalın arayüzey maddesi oluşumuyla önlenemezler. Faz ayrılması ise emülsiyon damlacıklarının kremalaşma ve koalesansa göre daha fazla miktarda birleşmesi ile geri dönüşümsüz oluşur.



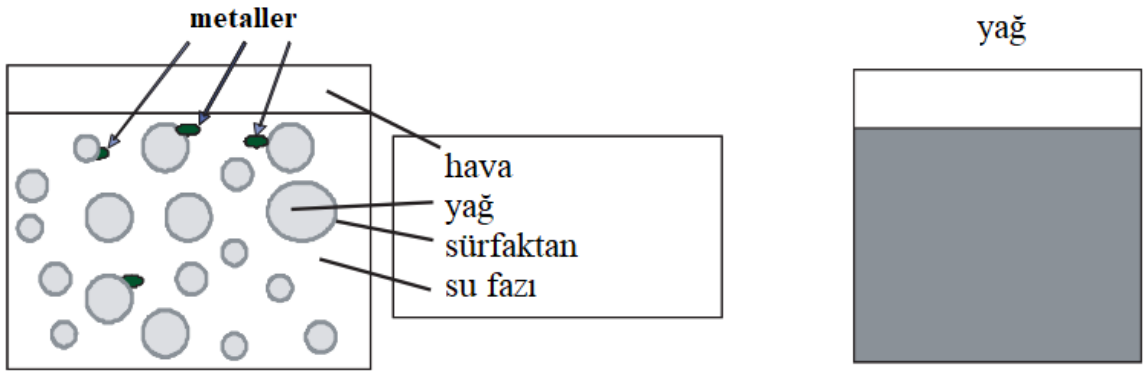
Şekil 2.9: Oswalt olgunlaşması küçük damlacıkların genişlemesi ile büyük damlacıkların oluşumu

Oswalt olgunlaşması küçük damlacıkların genişlemesi ile büyük damlacıkların oluşumu ile ya da çoklu tabakalı emülsiyonlarda aradaki sürekli fazdan geçerek yine küçük damlacıklardan büyük damlacıklara doğru kütle transferi sonucu gerçekleşmektedir (Şekil 2.9). Suda çözünürlüğü daha yüksek olan yağlar, Ostwald olgunlaşmasına daha duyarlıdır, çünkü sulu sürekli fazdan göç etmeleri daha kolaydır (Walker, 2015).

2.3.2.2.4. Emülsiyonlarda lipit oksidasyonu

Emülsiyonlardaki lipit oksidasyonu, tipik olarak serbest radikallerin damlacıklar içindeki doymamış lipitlerle etkileşimi nedeniyle yağ-su ara-yüzünde meydana gelir (Arab-Tehrany vd., 2012; Walker vd., 2015). Emülsiyonlardaki lipit oksidasyonunu etkileyen faktörler, sadece yağ içeren sistemlere göre önemli ölçüde farklılık gösterir (Şekil 2.10) (Jacobsen ve Nielsen, 2006). Örneğin oksijen hem su hem de yağ fazında çözünebilir. Antioksidanlar hem su hem de yağ fazında çözünebildiği gibi ayrıca yağ-su ara yüzüne de ayrılabilir.

Y/S emülsiyonu



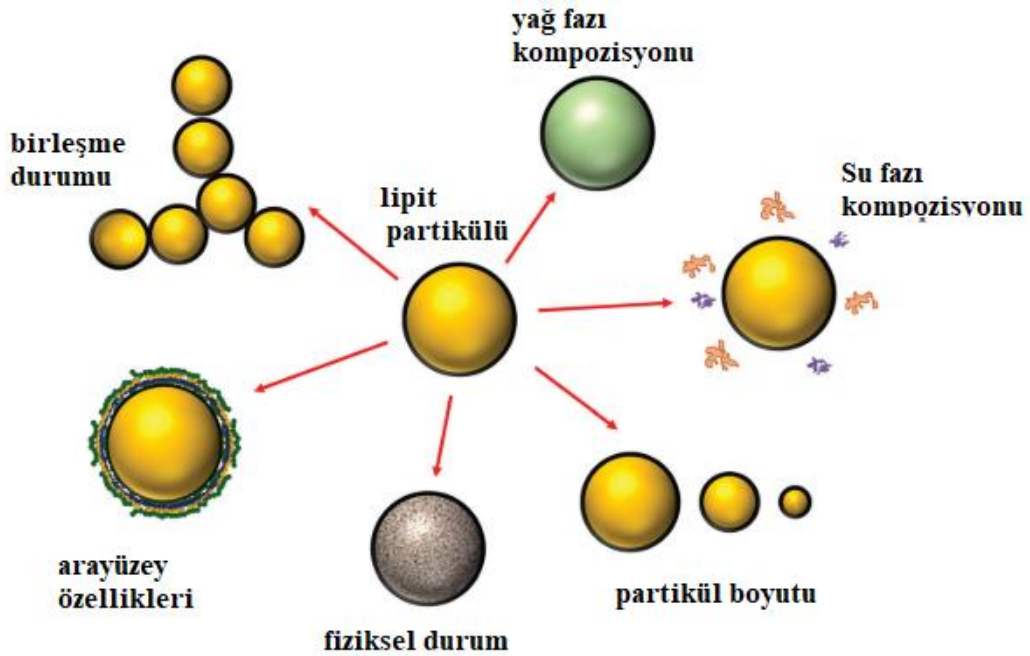
Şekil 2. 10: Oksidasyon ve antioksidasyon mekanizmalarını etkileyebilecek yağ emülsiyonları ve yağlar arasındaki yapısal ve bileşimsel farklılıklar (Jacobsen & Nielsen, 2006).

Emülsiyonlardaki lipit oksidasyonun, yağ-su arayüzeyinin daha fazla olması sebebiyle yağlardaki lipit oksidasyonuna göre daha hızlı gerçekleşmesi beklenir (McClements ve Decker, 2000; Frankel vd., 2002). Emülsiyonlardaki lipit oksidasyon hızını potansiyel olarak etkileyebilecek birçok faktör vardır. Bunlar yağ asidi bileşimi; sulu fazın pH ve iyonik bileşimi, antioksidan ve proksidanların tipi ve konsantrasyonu; oksijen konsantrasyonu, partikül büyüklüğü, konsantrasyon ve fiziksel durum gibi lipit damlacık özellikleri; kalınlık, yük, reoloji, geçirgenlik gibi emülsiyon damlacık arayüzey özellikleri; lipit substratlarının (çoklu doymamış yağ asitleri) ve pro-oksidanların (geçiş metalleri ve hidroperoksitler) sistemdeki göreceli konumuna bağlıdır (Jacobsen ve Nielsen, 2006; McClements ve Decker, 2000; Walker vd., 2015; Waraho vd., 2011).

Emülsiyonlara dahil edilen Omega-3 UZ-ÇDYA, kısmen emülsifikasyon için gerekli olan mekanik işlemden dolayı, bazı durumlarda yüksek sıcaklıkların kullanılmasını gerektiren oksidasyona karşı oldukça hassastır. Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı, Omega-3 UZ-ÇDYA ile zenginleştirilmiş gıdalarda kullanılacak yağın kalitesi, sümfaktanlar dahil bileşen seçimi, işleme koşulları, ambalaj malzemesi ve saklama koşullarının optimizasyonu ve antioksidan eklenmesi gibi önlemler alınarak oksidasyon sınırlanabilir (Jacobsen ve Nielsen, 2006).

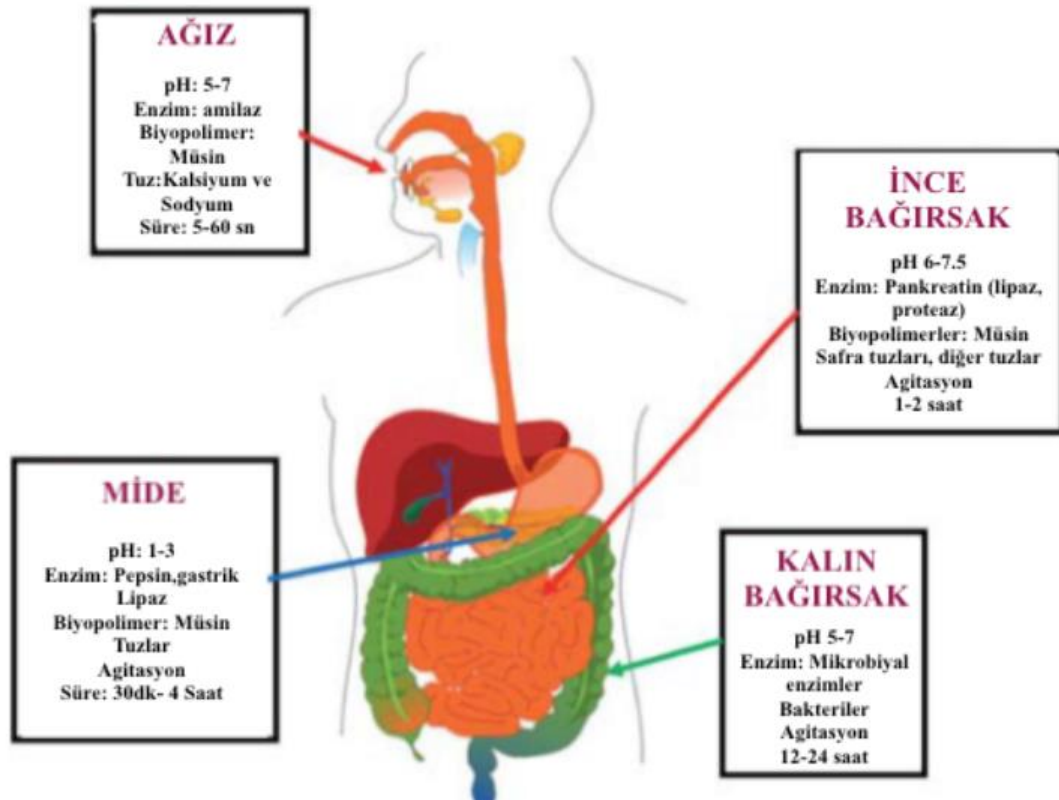
2.4 Simüle Edilmiş Sindirim Koşulları Altında Emülsiyonların Davranışları ve Biyoyararlanımları

Lipitlerin insan gastrointestinal sistemi (GIS) içinde sindirimini ve emiliminin araştırılması gıda sistemlerinin tasarlanmasında oldukça önemlidir (Şekil 2.12) (Zhang vd., 2015). Son yıllarda gıda bilimcileri, gıdaların biyoaktifliklerini geliştirmek veya Omega-3 yağ asitleri, konjuge linoleik asit, bütirat, fitosteroller, karotenoidler, antioksidanlar, koenzim Q ve A ve D vitaminleri dahil olmak üzere birçok biyoaktif lipit bileşenini kapsüllemek, korumak ve serbest bırakmak için çeşitli dağıtım sistemleri dizayn ederek kullanmaktadır (McClements ve Li, 2010). Bu amaçla sıklıkla kullanılan emülsiyon esaslı taşıma sistemlerinin, insan sağlığına olumsuz etkileri olmadığından ve taşınan biyoaktif maddenin gerçekten vücut tarafından emildiğinden emin olmak için bu emülsiyon sistemlerin gastrointestinal özelliklerini ölçmek ve değerlendirmek önemlidir (Walker, 2015). Emülsiyon sistemlerinde yer alan hidrofobik biyoaktif bileşiklerin biyoerişilebilirliği lipit fazının gastrointestinal akıbetine bağlıdır (Salvia-Trujillo vd., 2013; Zhang vd., 2015). Suda yağ emülsiyonlarında damlacık özellikleri değiştirilerek GIS içerisindeki lipitlerin biyoerişilebilirlik oranları değiştirilebilir (Şekil 2.11) (McClements, 2018)



Şekil 2. 11: Suda yağ emülsiyonlarında damlacık özellikleri değiştirilerek GIS içerisindeki lipitlerin biyoerişilebilirlik oranları değiştirilebilir (McClements, 2018)

Yutulan emülsiyonların GIS içindeki davranışları gıda emülsiyonları üzerine yapılan oldukça popüler araştırma konularındandır. Bu akımdaki çalışmaların büyük çoğunluğunda *in vitro* simüle edilmiş çalışmalar olsa da hayvanlar ve hatta insanlar kullanılarak *in vivo* gerçekleştirilen çalışmalar da mevcuttur (McClements, 2018). *In vivo* modeller üzerinde yapılan çalışmalar karmaşık, pahalı ve zaman alıcıdır. Diğer yandan insan fizyolojisinin taklidine dayanan *in vitro* modeller, sindirim stabilitesini, miselizasyonu, bağırsak naklini ve metabolizmayı incelemek ve farklı gıda bileşenlerinin (örneğin askorbik asit, karotenoidler, glukosinolatlar, polifenoller) biyoyararlanımını tahmin etmek için basit, ucuz ve tekrarlanabilir araçlar olarak geliştirilmiştir (Granado-Lorencio vd., 2007; Pe’rez-Ga’lvez ve Antonio, 2005). *In vitro* sindirim modellerinin çoğu, gastrointestinal sistemde geçiş sırasında bileşiklerin matrislerinden biyogeçişliliğinin araştırılmasını sağlamak için ağız, mide ve ince bağırsakta sindirim süreçlerini basit bir şekilde simüle eder (Şişlioğlu, 2019).



Şekil 2. 12: İnsan Gastrointestinal sisteminin farklı bölgelerindeki fizikokimyasal koşulların şematik gösterimi (McClements ve Li, 2010)

2.5 Biyoyararlanım

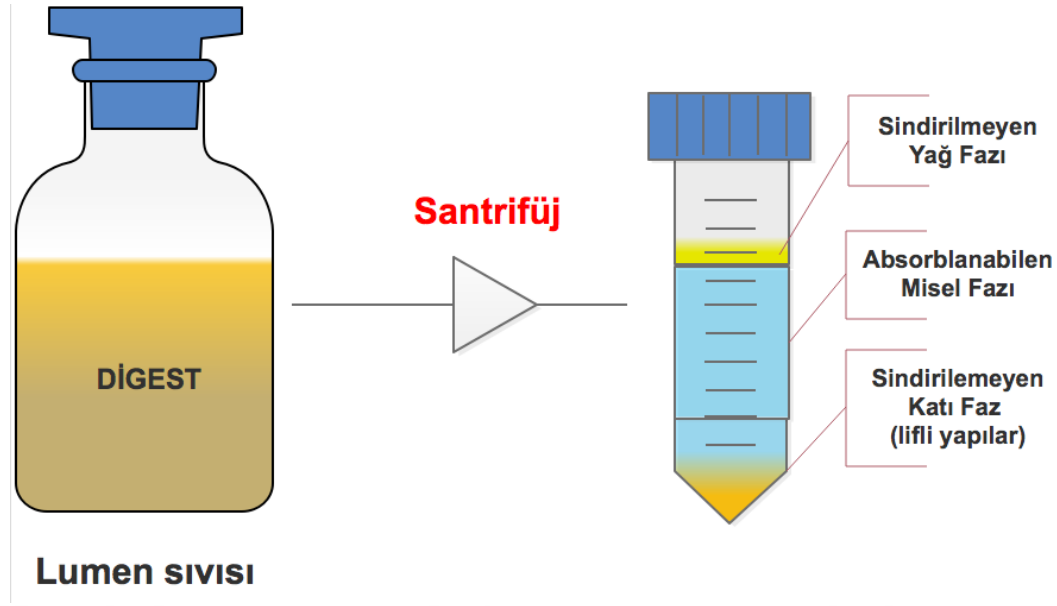
Biyoyararlanım terimi, yutulan bir bileşenin eninde sonunda dolaşım sistemine katılan oranı olarak tanımlanmaktadır (McClements ve Li, 2010; Versantvoort vd., 2005). Vücuda oral yolla alınan bir bileşiğin biyoyararlanımı; bileşiğin matrisinden, sindirim sistemindeki sindirim suyuna salınması (biyoerişilebilirlik–sindirilebilirlik); bağırsak epitelyumu boyunca büyük bağırsak toplardamarına taşınması; bileşiğin karaciğerde ve bağırsakta metabolize edilmesi işlemlerinin sonucu olarak görülmektedir (Holst ve Williamson, 2008; Versantvoort vd., 2005).

Nanoemülsiyonların ve diğer kolloidal sistemlerin, içinde kapsüllenmiş belirli lipofilik maddelerin bazı türlerinin biyoyararlanımını arttırdığı gösterilmiştir. Bu durum, bazı nutrasötiklerin biyoaktivitesini arttırmak için yararlı olabilir (McClements ve Rao, 2011). Lipofilik bileşenler için biyoyararlanım (F) şu şekilde tanımlanabilir:

$$F = F_B \times F_T \times F_M$$

Burada F_B , gıda matrisinden sindirim sistemine salınan lipofilik bileşen fraksiyonu yani biyoerişilebilirlik katsayısı; F_T , bağırsak epitelyumu boyunca taşınan lipofilik bileşenlerin taşıma katsayısı; F_M ise metabolize edilmeden sistemik dolaşıma ulaşan lipofilik bileşenlerin fraksiyonu olarak ifade edilmektedir (McClements, 2013; McClements ve Li, 2010).

Sindirim sonrası emülsifiye edilen lipofilik bileşenlerin salınımının incelenmesi için kullanılan en yaygın yöntem; gastrointestinal sindirim sonrası oluşan dijest örneğinin, santrifüj edilerek altta sindirilemeyen katı faz, ortada sulu bir faz ve üstte yağ fazı olmak üzere üç farklı faza ayrılmasıdır. Sindirilemeyen katı fazında sindirilmemiş proteinler, diyet lifleri, safra tuzları, serbest yağ asitleri ve mineraller gibi yoğunluğu yüksek çözünmeyen maddeler bulunmaktadır. Sulu fazda safra tuzları, fosfolipitler ve serbest yağ asitleri gibi lipid sindirim ürünleri içeren karışık miseller ve veziküller bulunmaktadır. Üst tabakadaki yağ fazında ise sindirime uğramayan yağlar ya da yağ damlacıkları bulunmaktadır (Şekil 2.13) (McClements ve Li, 2010).



Şekil 2. 13: Santrifüj edilen dijest örneğinde meydana gelen faz farklılıkları

2.5.1 pH-stat yönteminin prensibi

pH-stat yöntemi, simüle edilmiş ince bağırsak koşulları altında lipidlerin sindirimini *in vitro* karakterizasyonu için ilaç ve gıda araştırmalarında sıklıkla kullanılan analitik bir yöntemdir. Nötre yakın pH değerlerinde lipaz ilavesinden sonra lipidlerden, genellikle trigliseritlerden salınan serbest yağ asitleri miktarının ölçümlerine dayanır (Li ve McClements, 2010; McClements ve Li, 2010).

Lipit içeren numune; lipaz, ko-lipaz, safra tuzları, fosfolipitler ve mineral iyonları gibi sindirimi etkilediği bilinen bu sindirim bileşenlerinin uygun konsantrasyonları ilave edilerek simüle edilmiş ince bağırsak sıvısı haline getirilir ve sıcaklığın kontrol edilebildiği bir reaksiyon odasına koyulur. Simüle edilmiş ince bağırsak sıvısındaki lipazın, her bir trigliserit molekülü için bir monogliserit ve iki serbest yağ asidi oluşumuna yol açan lipid sindirimini katalize ettiği varsayılmaktadır. Lipit sindirimi sonucunda üretilen bu serbest yağ asidi miktarı arttıkça artan asitliği önceden ayarlanmış başlangıç pH değerinde (örn., pH 7.0) korumak için sindirim hücresine alkali (NaOH) konsantrasyonu ilave edilerek zamana karşı harcanan miktar kaydedilir (Li & McClements, 2010; McClements & Li, 2010).

pH-stat yönteminin uygulanması benzer deney koşulları ile karşılaştırıldığında nispeten basit ve hızlıdır. Bu teknik, lipid sindirimini etkilemesi beklenen farklı fizikokimyasal faktörlerin etkisini hızlı bir şekilde taramak için kullanılabilir (Li ve McClements, 2010; McClements ve Li, 2010).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Omega -3 yağ asitlerince zengin krill yağı emülsiyonları hazırlanarak yapılan bir çalışmada emülsiyonların çeşitli pH (3-7) ve NaCl konsantrasyonlarında (50-1000 mM) fiziksel stabilitesi incelenmiştir. Emülsiyonların başlangıçtaki partikül boyutları 150 ile 165 nm arasında olduğu tespit edilmiştir. En kararlı emülsiyonların pH 5 değerinde ve 100 mM NaCl konsantrasyonunda olduğu kaydedilmiştir. Lipit oksidasyonu üzerine α -tokoferol ve troloxun etkisinin de araştırıldığı bu çalışmada, lipit oksidasyon düzeyinin demir katalizörlüğünde artmasına rağmen α -tokoferol varlığında azaldığı tespit edilmiştir. Tüm sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda krill yağının uygun şartlar sağlandığında oksidatif olarak stabil bir Omega-3 yağ asidi kaynağı olabileceği düşünülmektedir (Wu et vd., 2016).

Djordjevic ve arkadaşlarının (2008) yaptığı bir çalışmada oksidatif bozulmaya ve fiziksel stabiliteye karşı kararsız olan limonen uçucu bileşeni içeren su içinde yağ (Y/S) emülsiyonlarının WPI (peynir altı suyu proteini) ve GA (Gam arabik) ile stabilize edilerek sürfaktan farkına bağlı fizikokimyasal stabilite farklılıkları incelenmiştir. WPI ile stabilize edilen emülsiyonlarda hem pH 3 hem de pH 7'de GA ile stabilize edilen emülsiyonlara kıyasla limonen bozulmasına bağlı olarak oluşan oksidasyon ürünlerinin daha az olduğu tespit edilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre Y/S emülsiyonlarında limonenin oksidatif bozulmasının WPI ile önlenebileceği öngörülmektedir.

Başka bir çalışmada balık yağı, emülsiyonu içilebilir yoğurda eklenerek, yoğurdun oksidatif stabilitesi üzerine bir araştırma yapılmıştır. Çalışma sonucu balık yağı bakımından zenginleştirilmiş içilebilir yoğurdun 2 ° C'de 4 hafta depolama süresince prooksidan olarak demir ilavesine rağmen oksidatif olarak stabil bir ürün olduğunu göstermiştir (Nielsen vd., 2006).

% 16 oranında balık yağı ile zenginleştirilmiş mayonez kullanılarak yapılan bir çalışmada balık yağının oksidasyon sırasında mayonezin tat, koku ve lezzet verici maddelerin oluşumunun desteklendiği tespit edilmiştir (Jacobsen vd., 1999).

Charoen ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada doğal sürfaktanlar olan WPI, GA, MS (modifiye nişasta) kullanılarak stabilize edilen % 5 pirinç kepeği yağı içeren (Y/S) emülsiyonlarının çevresel streslere karşı fiziksel stabiliteleri araştırılmıştır. WPI ve MS ile stabilize edilen pirinç kepeği emülsiyonlarının partikül çapı ($d > 300$ nm) GA ile stabilize edilenlere ($d > 1000$ nm) göre daha küçük bulunmuştur. Emülsiyonların fiziksel stabiliteleri pH (3 ila 8), iyonik güç (0 ila 500 mM NaCl) ve termal işlem (30 ila 90 ° C) uygulamaları

ile gözlemlenmiştir. Sonuç olarak MS ve GA ile stabilize edilen pirinç kepeği emülsiyonlarının çevresel stresin etkisi oldukça az olmasına karşın başlangıçta en küçük lipit damlacıklarına sahip olan WPI ile stabilize edilmiş emülsiyonların çevresel strese karşı en hassas emülsiyonlar olduğu tespit edilmiştir.

Yine başka bir çalışmada doğal sürfaktanlar olan lesitin ve quillaja saponin (QS) ve yapay sürfaktanlardan Tween 80 (T80) ve sodyumdodesil sülfat (SDS) kullanılarak stabilize edilmiş Omega-3 yağ asitlerince zengin (Y/S) emülsiyonları oluşturulmuş ve hem fiziksel hem de oksidatif stabiliteleri araştırılmıştır. Fiziksel stabiliteleri termal sıcaklık (30 ila 90°C), iyonik şiddet (0 ila 500 mM NaCl konsantrasyonu) ve pH (3 ila 8) çevresel koşulları değiştirilerek araştırılmıştır. Başlangıçta tüm emülsiyon damlacıkları pH 7' de küçük (45 ila 89 nm) ve anyonik (-8 ve -65 mV) olarak bulunmuştur. Lesitin ile stabilize edilenler hariç diğer bütün emülsiyonlarda çevresel koşullar değiştirilmesine rağmen kremalaşma gözlenmiştir. Doğal sürfaktanlardan QS ile stabilize edilen emülsiyonların oksidatif olarak daha stabil oldukları tespit edilmiştir. Omega-3 yağ asitlerinin hem doğal hem de sentetik sürfaktanlar kullanılarak stabilize edilebileceği sonucuna varılmıştır (Uluata vd., 2015).

Uluata ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada farklı partikül çapına ($d = 44$ nm ve $d = 216$ nm) sahip balık yağı emülsiyonlarının (Y/S) riboflavin kaynaklı 20 ve 37°C'deki oksidatif stabilitesini incelemişlerdir. Parçacık boyutu büyüdükçe ışık saçınımının artışı nedeniyle damlacık çapı ile emülsiyon bulanıklığı arasında doğru bir orantı olduğu gözlenmiştir. Birincil ve ikincil oksidasyon ürünleri oluşum oranının 37° C'de partikül boyutuna bağlı olmaksızın arttığı fakat 20°C hem birincil hem de ikincil oksidasyon ürünleri oluşum oranının damlacık boyutunun azalmasına bağlı arttığı tespit edilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre riboflavinin küçük partikül çapına sahip emülsiyonlarda oksidasyonu hızlandırdığı tesbit etmiştir.

Doğal ve sentetik sürfaktanlar ile emülsifiye edilmiş balık yağının, deniz hıyarının dış katmanından izole edilen "Fuciodan" isimli bir polisakkarit varlığında *in vitro* GIS koşullarındaki akıbeti araştırılmıştır. T80 ile stabilize edilmiş emülsiyonların lipit sindirim oranının sabit; kazeinat ve WPI ile stabilize edilmiş emülsiyonların ise fuciodan varlığında lipit damlacıklarının agregasyonunun artmasına bağlı olarak lipit sindirimi oranında artış olduğu görülmüştür. Araştırma verilerine göre polisakkarit ilave edilerek GIS koşullarında lipit sindiriminin kontrol edilebileceği sonucuna varılmıştır (Chang ve McClements, 2016).

Likopen içeren domates ve domates ürünleri bakımından zengin bir diyetin kronik hastalıklara karşı koruyucu etkisini araştırmak isteyen Rao'nun (2004) yapmış olduğu bir

çalışmada 4 hafta boyunca günde 30 mg likopen alacak şekilde domates ve domates ürünleri tüketen 17 kişilik bir deney grubu izlenmiştir. Çalışma sonucunda likopen alımı ile doğru orantılı olarak lipit oksidasyonunda azalma olduğu tespit edilmiştir.

Bir başka çalışmada Y/S emülsiyonlarının *in vitro* sindirimi sırasında karotenoidlerin lipit sindirimine miseller katkısı araştırılmıştır. Lipitlerin sindirimi sırasında serbest yağ asidi salınımı ile karotenoid eklenmesi arasında pozitif yönde doğrusal bir ilişki olduğu bulgulanmıştır (Mutsokoti et vd., 2017).

Rao ve arkadaşlarının (2016) taşıyıcı bir su içinde yağ emülsiyon sistemi kullanarak β -karotenin biyogeçişliliği üzerine yapmış oldukları bir çalışmada β -karotenin biyogeçişliliğinin sindirilebilir yağ içeriğinin artmasıyla arttığı tespit edilmiştir.

Yapılan başka bir çalışmada 6.3 pH değerinde insan safrasından salgılanan asitlerin bir karışımı kullanılarak çeşitli meyvelerin (muz, şeftali, ananas, armut, kayısı, üzüm ve nektarin) *in vitro* GIS koşullarında safra asidi bağlama dereceleri karşılaştırılmıştır. İçerdikleri kuru madde ve diyet lifi oranına bağlı olarak, meyvelerin safra asidi bağlama yüzdeleri sırasıyla muz > şeftali = ananas > üzüm = armut > kayısı > nektarin olarak bulunmuştur. Bu değişkenliğin sindirim sırasında üretilen metabolitlerin anyonik veya kationik doğası veya aktif bağlanma bölgeleri ile olan etkileşimleri, antioksidanların yapısı ve sindirilmemiş fraksiyonların hidrofobikliği ile ilişkilendirilmiştir. Elde ettikleri sonuçların sağlık yararına geliştirilecek çalışmalar için potansiyel örnek olduğu düşünülmektedir (Kahlon ve Smith, 2007).

Zhou ve arkadaşları (1996) yapmış oldukları bir çalışmada diyet lifi özelliği gösteren pektin ilavesinin havuç suyundaki β -karoten biyogeçişliliğinin azaldığını tespit etmişlerdir.

Lui ve arkadaşları (2016) eksipiyan nanoemülsiyonların mango meyvesinde karotenoid ve fenolik bileşiklerin biyogeçişliliğini artırma potansiyeli üzerine bir çalışma yapmışlardır. Orta zincirli (MCT) ve uzun zincirli (LCT) trigliseritler kullanılarak hazırlanan emülsiyonlar saf mango ile karıştırılarak simüle edilmiş GIS koşullarına maruz bırakılmıştır. Karotenoid biyogeçişliliği sıralaması LCT > MCT > tampon çözelti olarak tespit edilmiştir. Bu farklılık bağırsak sıvısındaki misellerin çözündürme kapasitesindeki farklılıklara bağlanmıştır. Eksipiyan emülsiyon ilavesinin fenolik bileşiklerin biyoyararlanımı üzerine bir etkisi olmamıştır. Bunun sebebi fenoliklerin daha küçük polar maddeler olduğu için bağırsak sıvısında daha kolay çözünmesi olabileceği düşünülmektedir. Yine başka bir çalışmada domates suyuna eksipiyan emülsiyon ilavesi ile domates suyunda bulunan likopenin simüle edilmiş GIS koşullarındaki biyoyararlanım

değişimi araştırılmıştır. Domates suyuna eksipiyen emülsiyon olarak %10 mısır yağı emülsiyonu eklenerek damlacık çapı ve ısıl işlemin likopen biyogeçişliliğine etkisi değerlendirilmiştir. Eksipiyen emülsiyon varlığının likopen geçişliliğini nispeten arttırdığı bulgulanmıştır. Küçük damlacık içeren emülsiyonların ince bağırsak fazında tamamen sindirildiği ve büyük damlacık içeren emülsiyonların küçük damlacık içeren emülsiyonlara göre biyogeçişliliğinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Termal işlemin ise domates hücrelerinin martisinde belirgin bir değişikliğe neden olmadığı ve biyoyararlanımda hafif bir artışa neden olduğu tespit edilmiştir (Salvia-Trujillo ve McClements, 2016). Bu iki çalışmada meyve ve sebzelerde bulunan lipofilik biyoaktif ajanların biyoerişilebilirliğini eksipiyen emülsiyonlar ilave edilerek artırma potansiyelleri olduğu vurgulanmaktadır.

Başka bir çalışmada ise sentetik β -karoten ile takviye edilmiş ve farklı sebze yemeğinden (ıspanak, küçük doğranmış, bezelye ve brokoli) alınan β -karoten in biyogeçişliliği karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda lif oranları ile bağlantılı olarak ıspanak %3 ila 6, brokoli ve bezelye % 22 ila 24 oranında β -karoten biyogeçişliliği tespit edilmişken lif bulundurmeyen sentetik β -karoten ile takviye edilen yemeğin % 95 β -karoten biyogeçişliliği olduğu tespit edilmiştir (Hof, vd., 2017).

Salvia-Trujillo ve arkadaşları (2013) taşıyıcı yağ bileşiminin simüle GIS koşullarında β -karoten ile zenginleştirilmiş farklı sürfaktanlar (sakaroz monopalmıt ve lysolesithin) ve farklı yağlar (sindirilebilir mısır yağı ve sindirilemez limon yağı) kullanılarak hazırlanan nanoemülsiyonların fiziksel stabilitesi, yapısı ve biyogeçişliliği üzerine bir çalışma yapmışlardır. Taşıyıcı yağ bileşiminin *in vitro* GIS içindeki nanoemülsiyonlar üzerinde fizikokimyasal bir etkininin olmadığı görülmüştür. Mısır yağı ile stabilize edilmiş emülsiyonlarda partikül boyutu büyüdükçe β -karoten çözüdürebilen karışık misel konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak %SYA salınımı ve β -karoten biyo yararlanımı arasında doğrusal bir artış gözlenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1 Materyal

4.1.1 Araştırma materyali

Bu çalışmada materyal olarak, yerel bir marketten temin edilen Hacıhailoğlu kayısı çeşidi kullanılmıştır. Kayıslar iyice yıkanıp çekirdekleri çıkarılarak kâse tipi blenderda parçalanıp, püre haline getirilmiş ve analiz edilene kadar -20 °C'de saklanmıştır. Omega-3 yağ asitlerince zengin (% 19 EPA,% 12 DHA) balık yağı (MEG-3 1812 TG 3a Food Oil), DSM Nutritional Products Ltd. (Basel, Switzerland) tarafından sağlanmıştır. Balık yağı analiz edilene kadar -80 °C sıcaklıkta muhafaza edilmiştir.

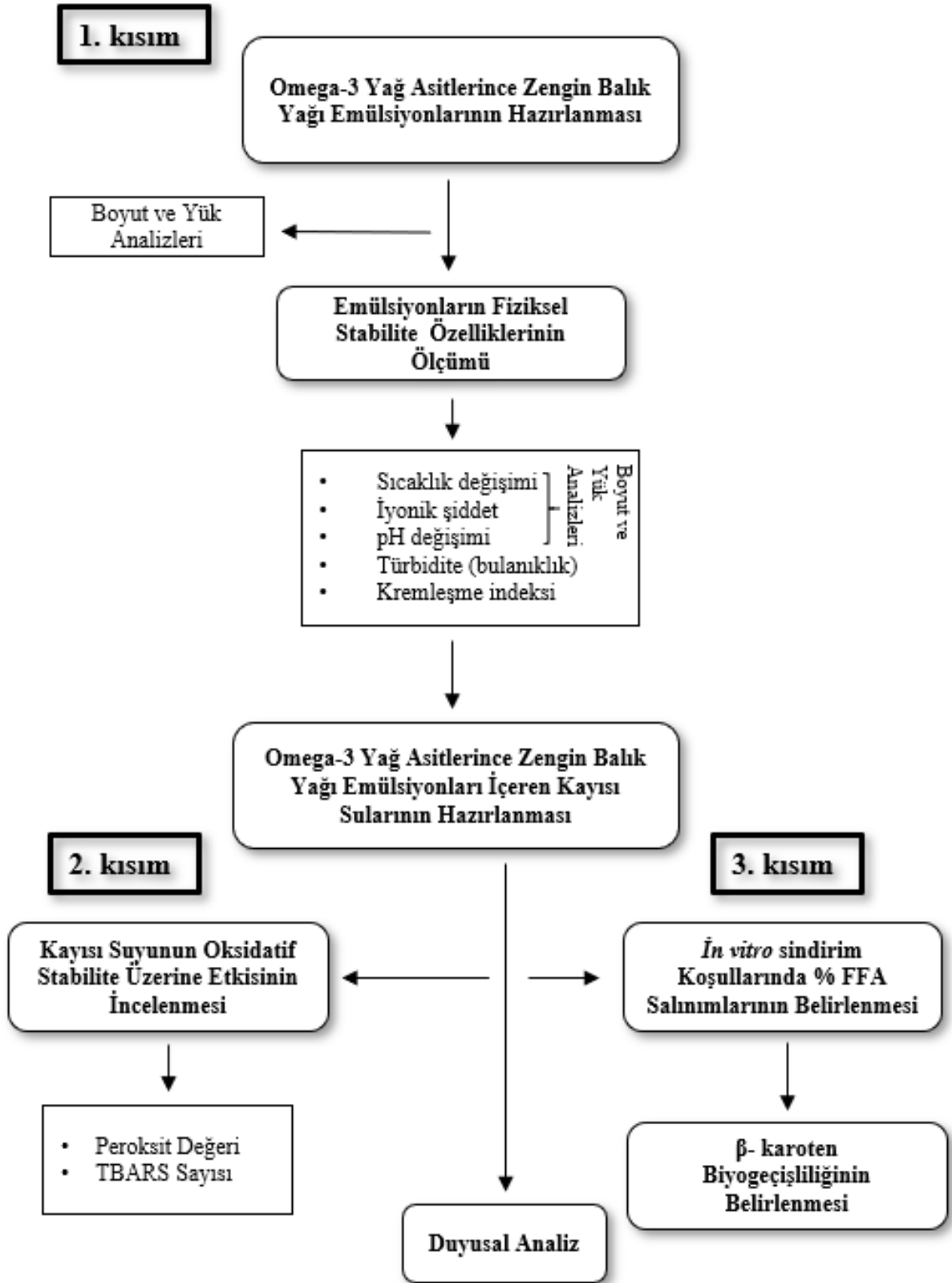
4.1.2 Kullanılan kimyasallar

Bu tez çalışmasında emülgatör olarak Polioksietilen Sorbitan Monooleat (Tween-80/T80), quillaja saponin (QS) ve gam arabik (GA) kullanılmıştır. Sigma-Aldrich marka α - tokoferol (>% 95 saflıkta) ve Trolox; analitik saflıktaki metanol, kloroform, izopropil alkol, etanol; amonyum tiyosiyanat (NH₄SCN), demir klorür (FeCl₂), hidroklorik asit, TCA (triklorasetik asit), TBA (tiyobarbütirik asit), BHT (bütil hidroksi toluen), pankreatik lipaz (domuz pankreasından) ve safra tuzları ve NaCl çalışmada kullanılan diğer kimyasal maddelerdendir.

4.1.3 Kullanılan cihazlar

Bu tez kapsamında; kâse tipi blender, yüksek devirli parçalayıcı (Heidolph, Almanya), çoklu manyetik karıştırıcı (Velp Scientifica, Almanya), saf su cihazı (GFL, type 2004, Almanya), su banyosu (Memmert, Almanya), etüv (Nüve, Almanya), vorteks (Heidolph, İtalya), santrifüj (Thermo Scientific-SL16R, ABD), çoklu manyetik karıştırıcı (Velp Scientifica, Almanya), hassas terazi (Ohaus PA214C, USA), UV-VIS çift ışın yollu spektrofotometre (UV-1800, SHIMADZU, Japonya), Konica Minolta Chroma Meter CR-5, MİTSUBİSHİ GT-200 otomatik titratör, ultra saf su cihazı (Millipore-Q, ABD), hassas terazi (Ohaus PA214C, ABD), zeta potansiyel ve partikül ölçüm cihazı (Zetasizer Nano - ZS, model ZEN3600, Malvern Instruments, Birleşik Krallık) ve otomatik pipet setleri kullanılmıştır.

4.2 Yöntem

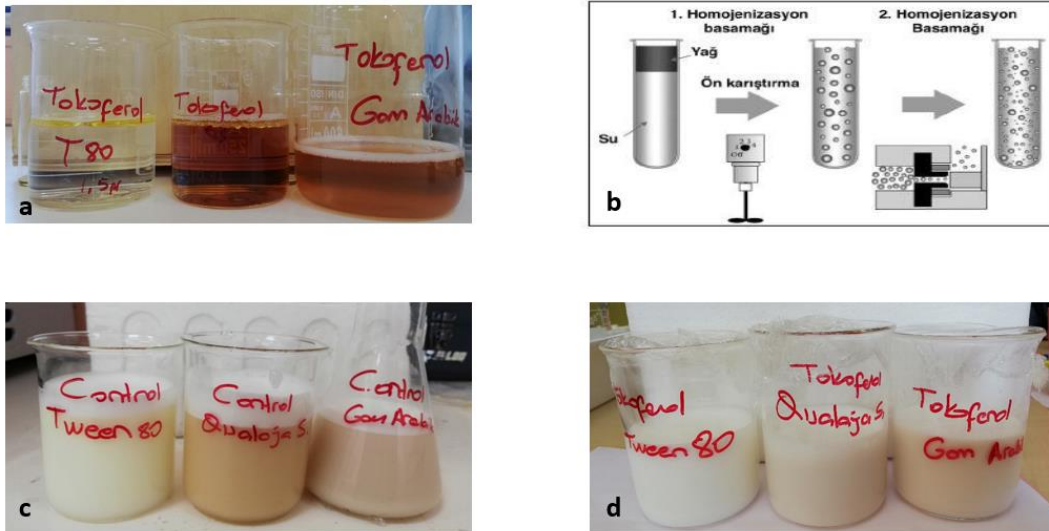


Şekil 4. 1: Deney planı

Bu çalışma üç kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda, Omega-3 yağ asitleri balık yağı; Tween 80, quillaja saponin ve gam arabik emülsifiyerleri kullanılarak Y/S emülsiyonları hazırlanmış ve pH, sıcaklık, tuz konsantrasyonu parametreleri değiştirilerek partikül boyutu ve zeta potansiyeli ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler neticesinde sürfaktan çeşidinin balık yağı emülsiyonu stabilitesi üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Çalışmanın ikinci kısmında Omega-3 yağ asitlerince zenginleştirilmiş kayısı nektarlarının saklama koşullarına bağlı olarak oksidatif stabiliteyi belirlenmiştir. Üçüncü kısımda ise omega-3 yağ asitlerince zengin kayısı nektarı örneklerinin *in vitro* sindirilebilirlik analizleri yapılarak serbest yağ asidi salınım oranları belirlenmiş ve kayısı nektarında bulunan β -karotenin biyoerişilebilirliği araştırılmıştır. Ayrıca Omega-3 yağ asitlerince zenginleştirilmiş kayısı nektarlarının duyuşal değerlendirilmesi ve renk özellikleri araştırılmıştır.

4.2.1 Emülsiyon hazırlama

Bu amaçla Y/S emülsiyonu hazırlamak için %5 balık yağı %1 oranında sürfaktan içeren pH 7'deki fosfat tamponu ile karıştırılmıştır (Şekil 4.2a). Sürfaktan olarak sentetik olan Tween 80 ve doğal olan Quillaja saponin ve Gam arabik kullanılmıştır. 4⁰ C' de 400 rpm'de Gam arabik, tampon içinde çözdürüldükten sonra bir gece manyetik karıştırıcıda karıştırılarak hazırlanmıştır.



Şekil 4. 2: (a) Yağ,sürfektan ve fosfat tamponu karışımı, (b) İki aşamalı emülsiyon üretimi akım şeması, (c) Yağ ve fosfat tamponu karışımının homojenizatör ile ön emülsifiye edilmiş görünümüleri, (d) Yüksek hızlı akışkanlaştırıcı (mikrofludizer) ile hazırlanmış emülsiyonlar.

Emülsiyon, %5 balık yağının ayrı ayrı T80, QS ve GA çözeltilerine eklenerek yüksek hızlı homojenizatörde 14000 rpm’de 4’er dakika boyunca homojenize edilmiştir ve böylece ön emülsiyonlar hazırlanmıştır (Şekil 4.2b ve 4.2c). Hazırlanan bu ön emülsiyonlar 10000 psi basınç altında mikroakışkanlaştırıcıdan 3 defa geçirilerek son emülsiyonlar elde edilmiştir (Şekil 4.2d ve Şekil 4.3). Tüm bu işlemler buz ortamında yapılmıştır.



Şekil 4. 3: LM20 mikro-akışkanlaştırıcı cihazı

Hazırlanan her üç emülsiyon için ayrıca Trolox ve α - tokoferol içeren antioksidan maddeler eklenerek emülsiyonlar hazırlanmıştır. Bunun için α - tokoferol (100 μ M, son konsantrasyon) yağ fazında eklenerek 4°C’de 400 rpm’de 1 gece boyunca karıştırılmış daha sonra emülsiyon hazırlanmıştır. Trolox (100 μ M, son konsantrasyon) ise emülsiyonlar hazırlandıktan sonra emülsiyona katılarak 30 dk boyunca 4°C’de 400 rpm’de karıştırılmıştır. Sonuç olarak 9 farklı balık yağı emülsiyonu elde edilmiştir.

4.2.2 Emülsiyonun fiziksel özellikleri

4.2.2.1 Bulanıklık (Türbidite) ölçümleri

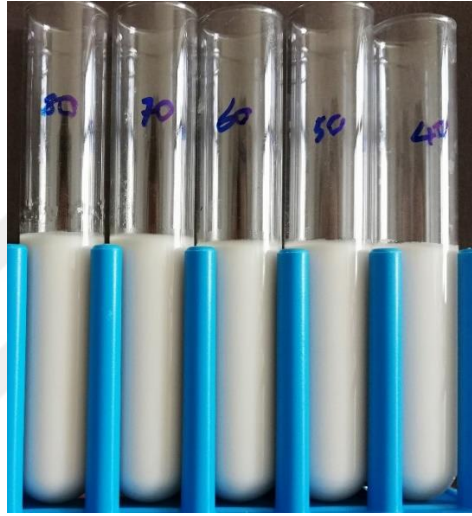
Emülsiyonların bulanıklığı, 600 nm dalga boyunda bir UV-VIS spektrofotometre kullanılarak ölçülmüştür. Absorbans okumalarını uygun bir aralığa düşürmek için pH’sı 7 olan fosfat tamponu kullanılarak örnekler 500 kat seyreltilmiştir.

4.2.2.2 Partikül boyutu ve partikül yükü ölçümleri

Üretilen emülsiyonların partikül boyutu ve yükü dinamik ışık saçınımı Zetasizer (Zetasizer Nano-ZS) ile tayin edilmiştir. Analiz sonuçları ortalama partikül çapı (d.nm) ve zeta (ζ) potansiyeli (mV) olarak kaydedilmiştir.

4.2.2.2.1 Termal stabilite

%5 balık yağı içeren Y/S emülsiyonları 40, 50, 60, 70 ve 80°C’lerde sıcak su banyosunda 10’ar dakika ve sıcaklık uygulamasının ardından 24 saat bekletilmiştir (Şekil 4.4).

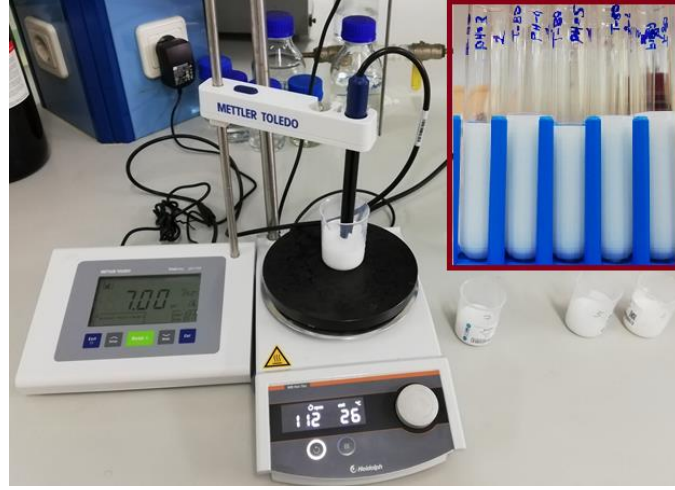


Şekil 4. 4: Farklı sıcaklık değerlerinde ısıl işleme tabi tutulmuş emülsiyon örnekleri

Emülsiyonlar pH’sı 7 olan fosfat tamponu ile 500 kat seyreltilip partikül boyutları ve zeta potansiyelleri partikül elektroforez enstrümanı (Zetasizer- Nanosizer) ile ölçülmüştür. Her ölçüm, oda sıcaklığında üç kez tekrarlanmıştır.

4.2.2.2.2 pH stabilitesi

%5 balık yağı içeren Y/S emülsiyonlarının değişen pH koşullarında stabilitesinin araştırılması için pH’ları (4.0, 5.0, 6.0 ve 7.0) 1 M HCl ve 1 M NaOH kullanılarak ayarlanmış ve cam test tüplerine aktarılarak oda sıcaklığında 24 saat karanlıkta bekletilmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4. 5: pH düzeneği ile farklı pH değerlerine ayarlanan emülsiyon örnekleri

Emülsiyonların her biri uygun pH'daki fosfat tamponu ile 500 kat seyreltilerek 3 mL'lik zeta(ζ) potansiyeli plastik küvetlerine aktarılmış ve ölçümler oda sıcaklığında (25 °C) gerçekleştirilmiştir. Her ölçüm üç kez tekrarlanmıştır.

4.2.2.2.3 İyonik şiddet stabilitesi

Farklı tuz konsantrasyonlarının emülsiyon stabilitesine etkisinin ölçülmesi amacıyla NaCl (100-500 mM) içeren emülsiyonlar hazırlanarak cam test tüplerine aktarılmıştır (Şekil 4.6). Daha sonra 25°C'de 24 saat karanlıkta bekletilen balık yağı emülsiyonları fosfat tamponu (pH 7) ile 500 kat seyreltilip partikül boyutları ve zeta potansiyelleri partikül elektroforez enstrümanı (Zetasizer - Nanosizer) ile ölçülmüştür. Her ölçüm, oda sıcaklığında üç kez tekrarlanmıştır.



Şekil 4. 6: Farklı NaCl konsantrasyonları (100-500 mM) içeren emülsiyonlar

4.2.3 Kremalaşma indeksi

Emülsiyonların kremalaşmaya karşı duyarlılığı, test tüpünün üstündeki opak damlacık açısından zengin serum katmanı ile emülsiyonun toplam yüksekliği ölçülerek aşağıdaki formül yardımı ile belirlenmiştir (McClements, 2005).

$$CI = 100 \times (H_S / H_T)$$

CI = Kremalaşma indeksi

HS = serum katmanının yüksekliği

HT = emülsiyonun toplam yüksekliği

4.2.4 Omega-3 yağ asitlerince zenginleştirilmiş kayısı nektarının hazırlanması

Derin dondurucuda -20° C'de saklanan kayısı püresi 1 gece önceden +4°C'de bekletilerek çözdürülmüştür. Kayısı oranı %40 olacak şekilde su ile seyreltilip pH'sı 3.8 ile 4 arasında, briksi ise 11.4 olacak şekilde ayarlanarak 90°C'de 5 dk süre ile pastörizasyona tabi tutularak kayısı nektarı hazırlanmıştır. Daha sonra hazırlanan kayısı nektarlarına daha önce hazırlanmış olan balık yağı emülsiyonları son hacimde emülsiyon oranı % 5 olacak şekilde eklenmiştir. Böylece omega-3 yağ asitlerince zenginleştirilmiş 9 farklı kayısı nektarı elde edilmiştir. Hazırlanan tüm kayısı nektarı örneklerine oksidasyon süresince mikrobiyal gelişimin önlenmesi amacıyla %0.01 oranında Sodyum Azid eklenmiştir.

4.2.5 Oksidatif stabilite testleri

Bu çalışmada hazırlanan %5 balık yağı emülsiyonu içeren kayısı nektarı ve aynı oranda balık yağı içeren emülsiyon örnekleri 3'er ml olacak şekilde ayrı ayrı deney tüplerine aktarılarak 4 ve 37°C'de oksidasyona bırakılmıştır. 37° C de oksidasyona bırakılan kayısı nektarı ve emülsiyon örneklerinden deneyin başlangıcında (0. gün) ve 1, 3, 6, 7, 8, 10. günlerde; 4°C de oksidasyona bırakılan kayısı nektarlarından ve emülsiyonlardan ise deneyin başlangıcında ve 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 65, 70, 75. günlerde örnek alımı yapılmış ve alınan örnekler aynı gün analiz edilmiştir.

4.2.5.1 Peroksit sayısı

Birincil oksidasyon ürünü olan peroksit değeri minör değişiklikler ile birlikte Uluata ve vd. (2015) tarafından uygulanan yöntemle göre belirlenmiştir. Bunun için, 0.2 ml örnek, 1.5 ml izooktan/2-propanol çözeltilisi (3:1, v/v) ile karıştırılmış ve 20 saniye

vortekslenmiştir. Karışım, 3000 rpm hızda 2 dakika süreyle santrifüjlenerek üst organik katmanından 0.2 ml alınmış ve başka bir deney tüpüne aktararak üzerine 2.8 ml metanol/bütanol çözeltisi (2:1, v/v) ilave edilmiştir. Bu karışıma 30 µL demir (Fe_2^+) çözeltisi eklenmiş ve 20 saniye vortekslenmiştir. Ardından 20 dakika karanlık ortamda bekletilen karışımın absorbansı 510 nm’de ölçülerek veriler kaydedilmiştir.

Fe_2^+ çözeltisi; 0.144 M $FeSO_4$ saf suda çözdürülmesi ile hazırlanan çözeltiden ve 0.132 M $BaCl_2$ çözeltisinden eşit miktarda alınarak santrifüj edilmiş ve oluşan üst fazın ve NH_4SCN çözeltisinin eşit miktarda karıştırılmasıyla taze olarak hazırlanmıştır.

Hidroperoksit konsantrasyonları kümen hidroperoksit kullanılarak hazırlanan standart bir kalibrasyon eğrisi kullanılarak belirlenmiştir.

4.2.5.2 TBA sayısı

İkincil oksidasyon ürünleri McDonald ve Hultin (1987)’in geliştirdiği TBARS testi modifiye edilerek tayin edilmiştir. Analize 1 ml örnek ve 2 ml TBA reaktifi (75 g triklorasetik asit (TCA), 1.88 g TBA, 414 g ultra saf su, 8.8 mL HCl (% 37) ve etanolde çözdürülmüş %2’lik BHT karıştırılarak hazırlanan) eklenerek 15 dakika 90°C’ye ayarlanmış sıcak su banyosunda bekletilmiştir. Sıcak su banyosundan alınan örnekler soğuk su içerisinde 10 dakika bekletilerek soğutulmasının ardından 3000 rpm’de 5 dakika süreyle santrifüj edilmiştir. Santrifüj edilen örnek tüplerinde biriken sulu fazın absorbansı 532 nm’de TBA çözeltisine karşı okunmuştur.

TBARS konsantrasyonları 1,1,3,3-tetraetoksiopropan (TEP) kullanılarak hazırlanan bir kalibrasyon eğrisine göre hesaplanmıştır.

4.2.6 *In vitro* sindirim testleri

Yağların sindirimi ince bağırsakta gerçekleştiğinden bu çalışmada ağız ve mide fazları yapılmayarak sindirime ince bağırsak fazından başlanmıştır. İnce bağırsak fazının oluşturulması için tuz çözeltisi, safta tuzu çözeltisi ve enzim çözeltisi bağırsak fazı başlatılmadan önce hazır hale getirilmiştir. Emülsiyonlar ve kayısı nektarlarının yağ oranları % 0.5’e ayarlanarak analiz gerçekleştirilmiştir.

4.2.6.1 İnce bağırsak fazı

Bağırsak fazını oluşturabilmek için öncelikle tuz, safra tuzu ve lipaz çözeltileri analiz için hazır hale getirilmiştir. Bu amaçla: Tuz çözeltisi; 0.055g kalsiyum klorür ve 0.3287 g sodyum klorür ultra saf su içinde tamamen çözdürülerek; Safra tuzu çözeltisi; 0.1875 g

safratuzunun 3.5 ml fosfat tamponu içerisinde bir gece karıştırılmasıyla; Lipaz çözeltisi; 0.06 g lipaz enziminin 25 ml fosfat tamponu ile manyetik karıştırıcıda karıştırılmasıyla hazırlanmıştır. Lipaz çözeltisi analizden 30 dk önce hazırlanıp analiz anına kadar manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır.



Şekil 4. 7: pH-stat titrasyon cihazı kullanılarak gerçekleştirilen in vitro sindirim deney düzeneği

Bağırsak fazı, %10 oranında emülsiyon içeren 60 ml kayısı nektarı örneğinin pH-Stat otomatik titrasyon ünitesine bağlı su banyosuna daldırılmasıyla başlatılmıştır (Şekil 4.7). Sıcaklık 37°C'ye ulaştığında örneğin pH'sı uygun konsantrasyonda HCl ve NaOH çözeltileriyle 7'ye ayarlanmıştır. Örnek içerisine 1.5 ml tuz çözeltisi ve 3,5 ml safratuzu çözeltisi sırasıyla damla damla ilave edildikten sonra tekrar pH 7' ye ayarlanmış ve lipaz çözeltisi damla damla eklenmiştir. Lipaz çözeltisi eklenmeye başlandığı ilk damladan itibaren pH-Stat titrasyon cihazı çalıştırılarak 2 saat sürecek olan bağırsak sindirimine başlanmıştır. Bağırsak sindirimi süresince serbest yağ asidi salınımının düşürdüğü pH'yı nötrlemek için harcanan 0.1 N NaOH çözeltisinin hacmi kaydedilmiştir.

Serbest yağ asidi (SYA) salınımı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\%FFA = \frac{100 \times V_{NaOH} \times M_{NaOH} \times m_{Yağ}}{w_{Yağ} \times 2}$$

%SYA = Serbest Yağ Asidi (%)

V_{NaOH} = Harcanan NaOH miktarı (L).

$M_{NaOH} = NaOH$ çözeltisinin molaritesi.

$m_{yağ} =$ Kullanılan yağın Molekül ağırlığı (balık yağı: 941g/mol)

$w_{yağ} =$ sindirim sisteminde mevcut yağın ağırlığı (gram)

4.2.7.2 Biyoerişilebilirlik oranının belirlenmesi

Simüle edilmiş ince bağırsak fazı sonucunda elde edilen dijesta örneklerinden 20 g alınarak 4°C’de 18000 rpm de 60 dk santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonrası elde edilen Omega-3 yağ asitlerinin çözündüğü misel analiz edilerek burada bulunan β -karoten miktarı belirlenmiştir. Analizi gerçekleştirmek için 2 ml misel, 2 ml kloroform ve 2 ml metanol test tüplerine aktarılmış ve 20 sn vorteklenmiştir. Daha sonra 5 dk boyunca 3500 rpm de santrifüje tabi tutulmuştur. Santrifüj sonrası oluşan alt faz başka bir tüpe aktarılmış ve ekstraksiyon 3 kez tekrarlanmıştır. Aynı işlemler simüle ince bağırsak sindirimi sonrası elde edilen dijesta içinde uygulanarak buradaki β -karoten miktarı tespit edilmiştir. Elde edilen ekstraktların kloroforma karşı 450 nm’de UV-vis Spektrofotometre kullanılarak absorbanları okunmuştur.

β -karotenin bilinen konsantrasyonları ile hazırlanmış bir kalibrasyon eğrisi kullanılarak sindirime uğratılmış örneklerdeki β -karoten konsantrasyonları hesaplanmıştır.

$$\text{Biyoerişilebilirlik (\%)} = \frac{m_{\text{misel}}}{m_{\text{dijesta}}} \times 100$$

Yukarıdaki formül kullanılarak β -karotenin biyoerişilebilirlik oranı hesaplanmıştır.

Bu denklemde; $m_{\text{misel}} =$ misel fraksiyonundaki β -karoten miktarı

$m_{\text{dijesta}} =$ dijestadaki β -karoten miktarı’nı ifade etmektedir.

4.2.8 Renk analizi

Farklı sürfaktanlar ile stabilize edilmiş %5 balık yağı emülsiyonu içeren kayısı nektarı örnekleri ve kontrol olarak kullanılan emülsiyon eklenmemiş kayısı nektarının rengi, Konica Minolta Chroma Meter CR-5 cihazı ile borosilikat küvet (12 ml) kullanılarak ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda L^* (Lightness; parlaklık 0 (siyah) – 100 (beyaz)), a^* (-60 (yeşil) –60 / +60 (kırmızı)) ve b^* (-60 (mavi) –60 / +60 (43 sarı)) değerleri saptanmıştır.

4.2.9 Duyusal analiz

Kayısı nektarına ilave edilecek emülsiyonların miktarının belirlenmesinde duyusal olarak kabul edilebilirlik sınırını görmek amacıyla panelistlere %0,5, 1 ve 2 oranlarında

emülsiyon içeren kayısı nektarları sunulmuştur. Duyusal değerlendirme de kullanılan değerlendirme formu çizelge 4.1'deki gibidir. Panelistlere kayısı nektarı örnekleri saydam plastik bardaklarda 50 ml olarak öncelikle örnek isimleri belli olan sırayla daha sonra yerleri değiştirilerek isimleri bilinmeyen sırayla sunulmuş ve iki farklı form verilerek doldurmaları istenmiştir.

Çizelge 4.1: Balık yağı emülsiyonu (%0.5-2) içeren kayısı nektarlarının duyuşal değerlendirme formu

Panelist Adı Soyadı:

Tarih:

Örnek adı	Renk ve görünüş	Kıvam (ağız)	Kıvam (kaşık)	Tat	Koku	Aroma	Genel Beğeni
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Not: Yukarıda verilen özellikler 1 ile 5 arasında puanlandırılmalıdır.

1: çok kötü

2: kötü

3: orta

4: iyi

5: çok iyi

4.2.10 İstatistiksel analizler

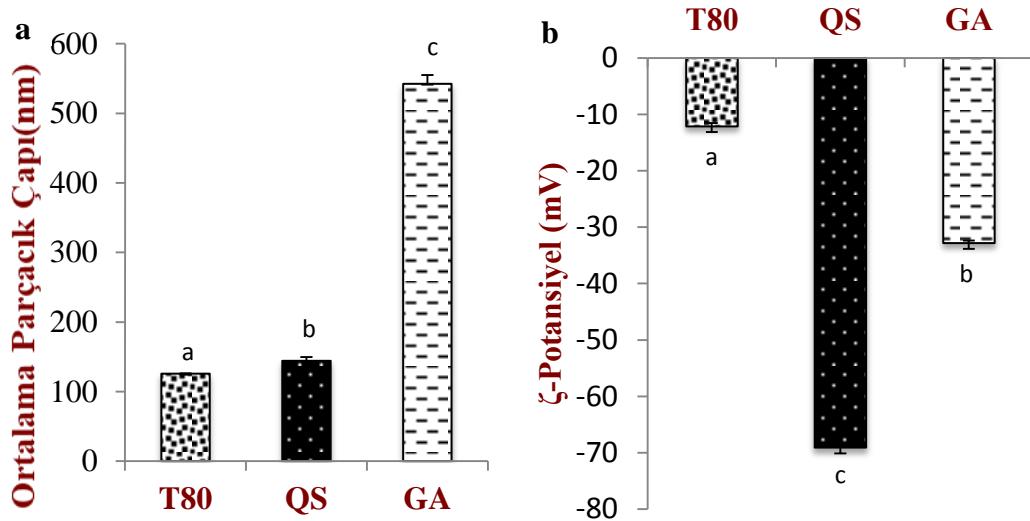
Bu çalışmada her bir analiz 2 kere tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak SPSS 16.0 paket programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçların ortalamaları arasındaki farkların istatistiksel önem düzeyleri “One way ANOVA (Analysis of variances - tek yönlü varyans analizi)” testi ve “DUNCAN” post testiyle belirlenmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1 Fiziksel stabilite

5.1.1 Partikül Boyutu, Dağılımı ve Zeta Potansiyeli

Mikroakışkanlaştırıcı ile homojenize edilerek üretilen tüm emülsiyonların partikül boyutları T80 = 125 nm, QS = 147 nm, GA = 542 nm olarak ölçülmüştür (Şekil 5.1a). Elde edilen sonuçlara göre en küçük partikül boyutu T80 ile stabilize edilen emülsiyondur. McClements ve Gümüş (2016), yapmış oldukları bir çalışmada doğal sürfaktanlar arasında yer alan QS ve GA'nın aynı konsantrasyonlarda kullanılarak hazırlandığı emülsiyonlar kıyaslanmış ve QS'nin yüzey yükünün GA'ya göre daha küçük olması nedeniyle, QS emülsiyonunun partikül boyutunun GA emülsiyonuna göre çok daha küçük olduğunu tespit etmişlerdir. Partikül yükü ölçümü sonuçlarına göre tüm emülsiyonların damlacık yükünün negatif olduğu ve negatif olarak büyükten küçüğe sıralandığında ise T80 (-12,15 mV) < GA (-32,85 mV) < QS (-69,1 mV) şeklinde sıralandığı gözlenmiştir (Şekil 5.1b). Elde edilen sonuçlara göre negatif olarak en küçük partikül yükü T80 ile stabilize edilen emülsiyondur. Non-iyonik sürfaktanlar tarafından stabilize edilen lipid damlacıklarının, sürfaktan ya da yağ içinde serbest yağ asidi kirlilikleri mevcudiyetinden veya OH⁻ adsorpsiyonu nedeniyle nötr pH'da negatif bir yüke sahip oldukları bildirmiştir (Chang ve McClements, 2016). T80 de non-iyonik bir yüzey aktif maddedir ve yağ damlacıkları tarafından çok iyi absorbe edilir (Izquierdo et al., 2002). pH 7'de QS ve GA içerdikleri karboksilik asit grubu nedeniyle negatif yüke sahiptir (Djordjevic vd., 2013; Uluata vd., 2015; Bai vd., 2017).

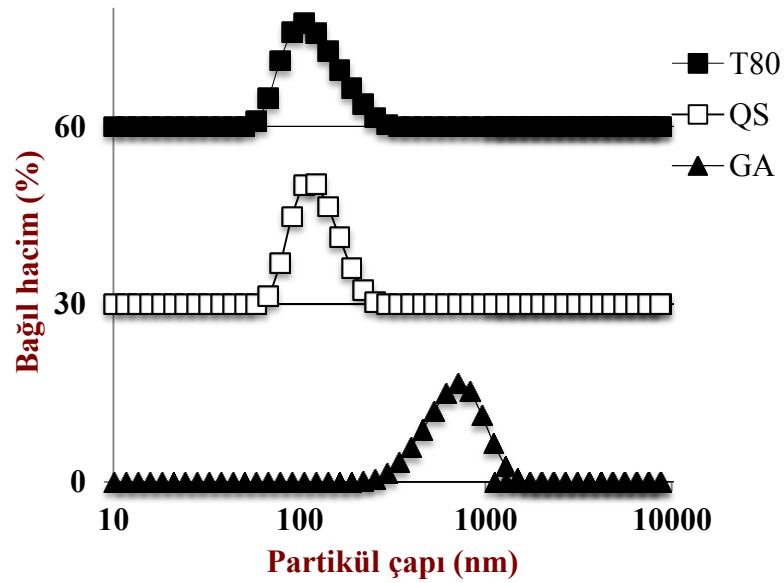


Şekil 5. 1: T80, QS ve GA kullanılarak üretilmiş emülsiyonların ortalama ortalama partikül boyutu ve yükü (Küçük harfler (a, b, c) surfaktanlar ile üretilen örnekler arasındaki farklılığı ifade etmektedir ($p<0,05$; Duncan).)



Şekil 5. 2: T80, QS ve GA kullanılarak üretilmiş emülsiyonların fiziksel görünümü

Tüm emülsiyonların opak görünüme sahip olduğu görülmüştür. Bu durumun emülsiyonların içerdiği yağ konsantrasyonunun fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Şekil 5.2).

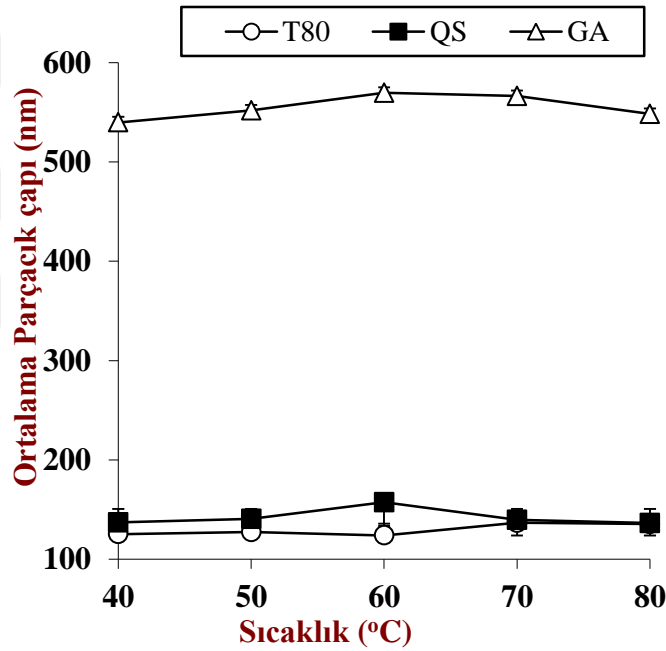


Şekil 5. 1: T80, QS ve GA kullanılarak üretilmiş emülsiyonların partikül dağılımları

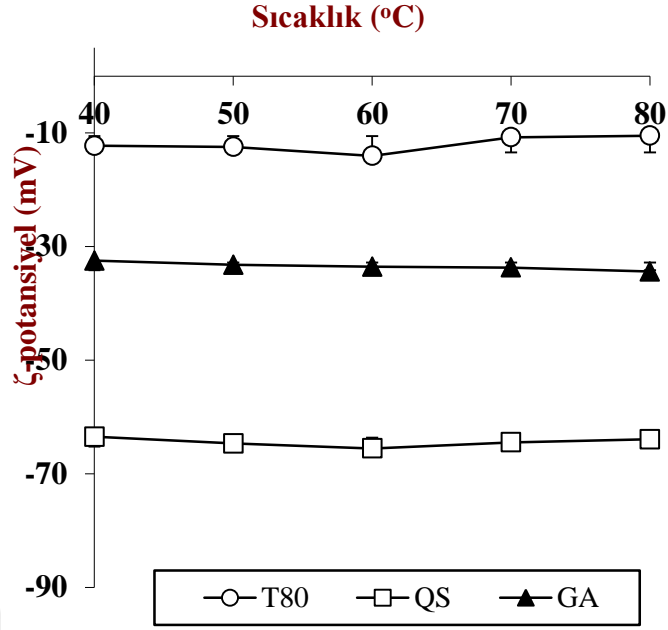
T80, QS ve GA kullanılarak üretilmiş emülsiyonların partikül dağılımları Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Partikül boyutu dağılımları incelendiğinde tüm emülsiyonların düzgün bir partikül boyutu dağılımına sahip olduğu görülmektedir. Bu da emülsiyonların iyi bir fiziksel stabiliteye sahip olduğunun bir göstergesidir.

5.1.2 Termal Stabilite

Tüm emülsiyonlar 40 ila 80 °C arasında 10 dk boyunca ısı işleme tabi tutulmuştur. Ortalama damlacık büyüklüğünde meydana gelen değişim Şekil 5.4 gösterilmiştir. Daha önce aynı sürfaktanlar kullanılarak yapılan çalışmalarda tüm emülsiyonlarda partiküller arasında güçlü bir elektrostatik ve sterik itmenin oluşu belirtilmiştir (Uluata vd., 2015; Öztürk, vd., 2014). Bu sonuçlara göre bu çalışmada farklı sıcaklıklarda, partikül boyutlarında belirgin bir değişim olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca partikül yükleri incelendiğinde elektriksel yüklerinde de bir değişiklik olmadığı görülmüştür (Şekil 5.5). Bu da hazırlanan tüm emülsiyonların iyi bir termal stabiliteye sahip olduğunu göstermektedir.



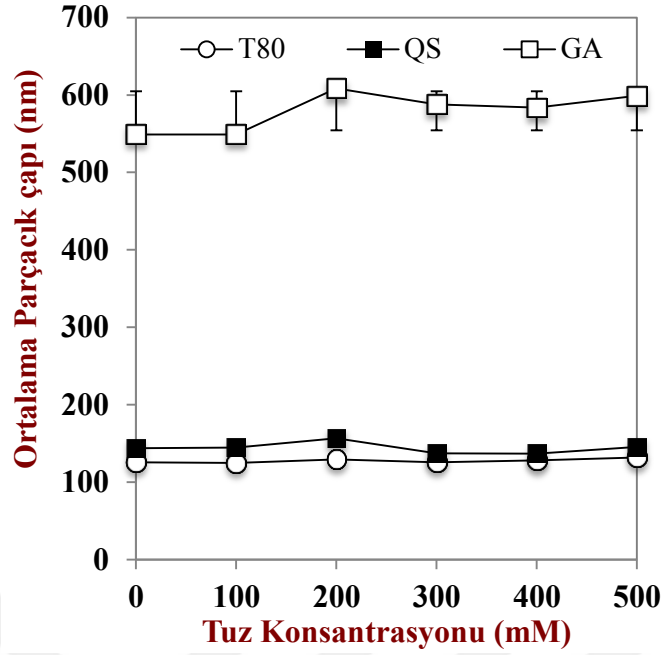
Şekil 5. 2: Sıcaklığın T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonların ortalama partikül çapı üzerindeki etkisi



Şekil 5. 3: Sıcaklığın T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonların ortalama partikül yükü üzerindeki etkisi

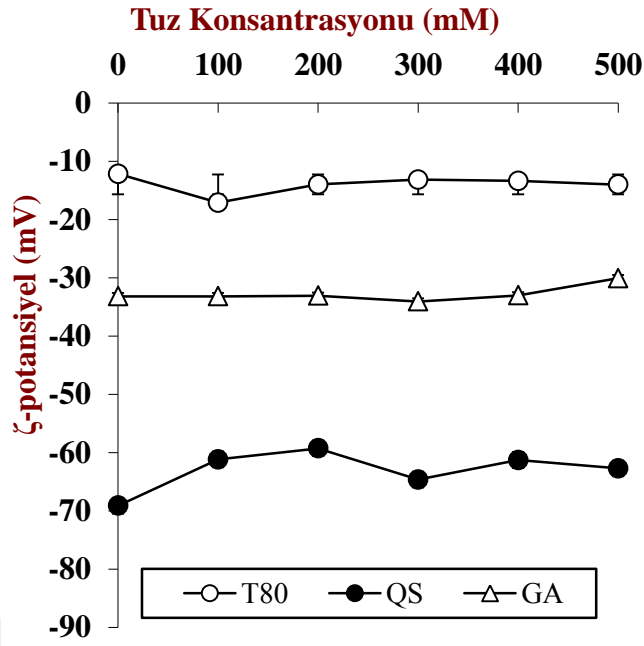
5.1.3 İyonik şiddetin fiziksel stabilite üzerine etkisi

Emülsiyonların fiziksel stabilitesi üzerinde iyonik gücün etkisi, 0 ila 500 mM NaCl ilave edilerek ve 24 saat depolandıktan sonra partikül büyüklükleri ve yükleri ölçülerek incelenmiştir. Emülsiyon sistemlerinde iki damlacık arasındaki elektrostatik itmenin büyüklüğü yüzeyler etrafında karşı iyon birikmesi yani “elektrostatik tarama” nedeniyle damlacıklar bir araya gelme eğilimi göstermektedir. Elektrostatik tarama etkileri, emülsiyon partiküllerini çevreleyen pozitif yükteki iyonların konsantrasyonu arttıkça daha da belirgin hale gelmektedir (McClements, 2005). Emülsiyon sistemlerine NaCl ilave edildikçe sulu fazdaki pozitif iyonlar (Na^+), elektrostatik çekim nedeniyle protein yüzeyinde negatif yüklü gruplar (COO^-) etrafında birikir ve böylece net yüklerini daha da azaltır (Charoen vd., 2011; McClements, 2005).



Şekil 5. 4: NaCl konsantrasyonunun T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonların ortalama partikül çapı üzerindeki etkisi.

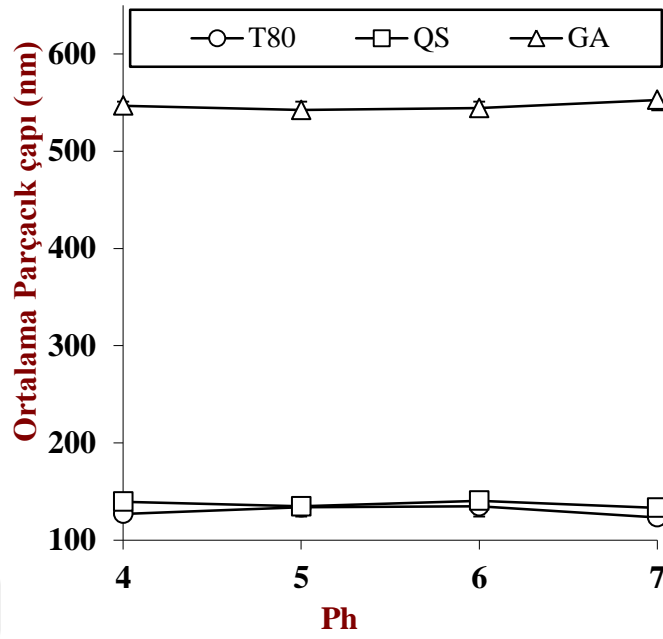
Bu çalışmada başlangıçta da düşük partikül yüklerine sahip olan emülsiyonlara NaCl ilavesi ile elektrostatik etkileşiminin artması nedeniyle emülsiyonların partikül boyutları ve yüklerinde değişimler olmuştur (Şekil 5.6 ve 5.7). T80 ve QS kaplı lipid partikülleri içeren emülsiyonların, NaCl ilavesinden sonra partikül büyümesine karşı GA kaplı lipid partiküllerine göre nispeten daha kararlı olduğu bulunmuştur. Bu da T80 ve QS içeren emülsiyonlarda partiküller arası elektrostatik itme gücünün çekme gücünden daha fazla olduğunu göstermiştir (Charoen vd., 2011; McClements, 2005). GA ile stabilize edilmiş emülsiyonlar 100 mM'yi aştığında partikül boyutlarında hafif derecede bir artış olduğu ancak daha yüksek NaCl konsantrasyonlarında nispeten kararlı olduğu gözlenmiştir. Her üç emülsiyonunda, artan NaCl konsantrasyonu ile partikül yüklerinde ufak çaplı değişimler olmuştur. Farklı tuz konsantrasyonlarında emülsiyon stabilitesinin değişmemesi bu emülsiyonların farklı gıda sistemlerinde, özellikle içecek sistemlerinde kullanılabilirliklerini göstermektedir.



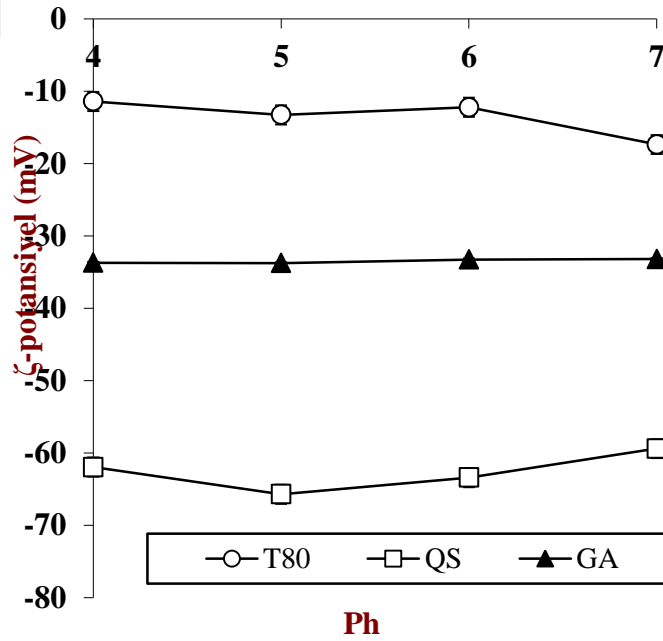
Şekil 5. 5: NaCl konsantrasyonunun T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonların ortalama partikül yükü üzerindeki etkisi.

5.1.4 pH Stabilitesi

Emülsiyon örneklerinin partikül büyüklüğü ve zeta potansiyeli değerlerinde pH'ya bağlı değişim sırasıyla Şekil 5.8 ve 5.9'da gösterilmiştir. T80, QS ve GA içeren emülsiyonların partikül boyutlarında istatistiksel olarak önemli bir değişiklik gözlenmemiştir ($P < 0.05$). Bu durum damlacık birleşmesinin meydana gelmediğini göstermektedir. T80 ile hazırlanmış emülsiyonun zeta potansiyeli pH arttıkça hafif bir artış göstermiştir ($P < 0.05$) (Şekil 5.9). QS ile hazırlanmış emülsiyonda ise pH azaldıkça önce hafif bir azalma ve daha sonra hafif bir artış gözlemlenmiştir. pH değerindeki azalma ile damlacıkların yüzeyine daha yakın yerlerde daha yüksek pozitif iyon konsantrasyonuna yol açmıştı ve böylece partikül yüklerinde artışa neden olduğu düşünülmektedir. (Wu vd., 2016). GA ile hazırlanmış emülsiyonun partikül yükünde ise herhangi bir değişim olmamıştır. GA polisakkarit yapısındadır ve lipit damlacıklarının etrafında kalın bir hidrofilik kaplama olarak görev görmektedir. Bu sayede de güçlü bir sterik itme gücüne sahiptir ve pH değişimlerinden çok daha az etkilenme eğilimindedir (McClements ve Gumus, 2016).



Şekil 5. 6: pH değişiminin T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonların ortalama partikül büyüklüğü üzerindeki etkisi.

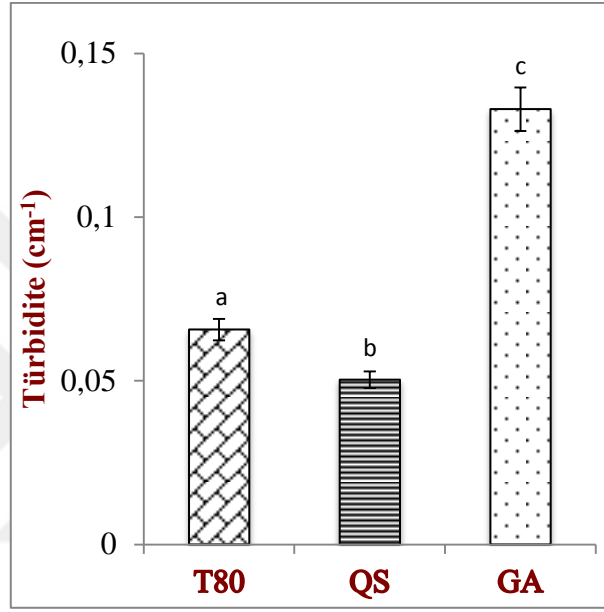


Şekil 5. 7: pH değişiminin T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonların ortalama partikül yükü üzerindeki etkisi.

5.1.5 Bulanıklık (Türbidite)

Emülsiyonların türbdite sonuçları Şekil 5.10 da verilmiştir. Emülsiyonlar aynı konsantrasyonlarda sürfaktan içermesine rağmen T80 ve QS içeren emülsiyonlar, GA

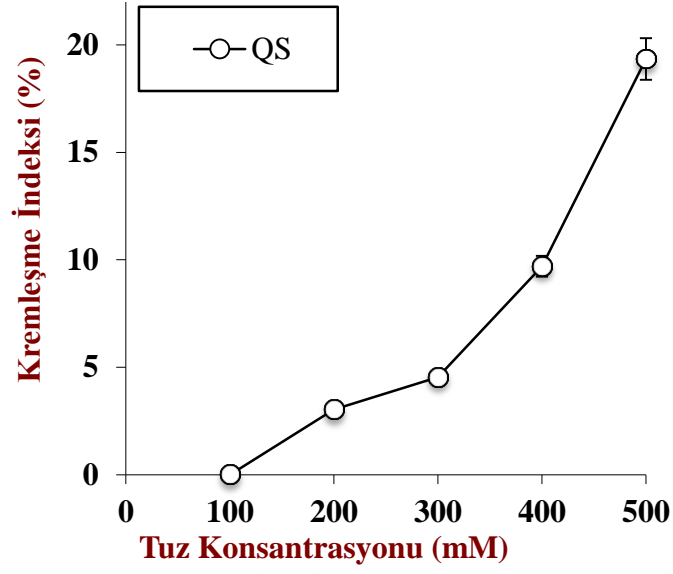
içerenlere göre daha küçük partikül boyutuna sahip olduğundan daha az bulanıklığa sahiptir. Işık dalgalarının emülsiyondaki damlacıklar tarafından saçılması emülsiyonun bulanıklığı, opaklığını ve açıklığı gibi karakteristik özelliklerini belirlediğinden emülsiyonun arzu edilebilirliğini etkiler. Emülsiyonların bulanıklığı, mevcut damlacıkların konsantrasyonu ve boyutuna bağlıdır (McClements, 2005). Daha küçük partikül boyutuna sahip T80 ile stabilize edilen emülsiyonda bulanıklık QS ile stabilize edilen emülsiyona göre daha yüksektir. Bunun durum partikül dağılımı grafiklerinden görüldüğü gibi emülsiyonların polidispers yapıda olmaları ile açıklanmaktadır (McClements, 2005).



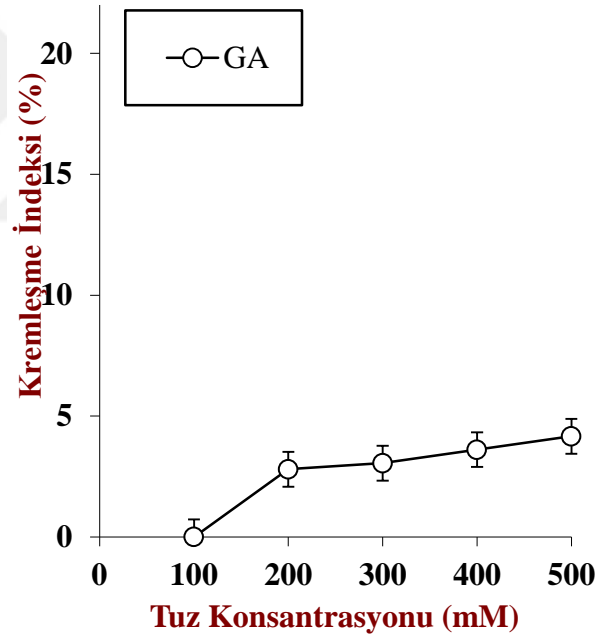
Şekil 5. 8: Emülsiyonların bulanıklık (türbidite) kıyasları (pH'sı 7 olan fosfat tamponu ile 1:500 kez seyreltilmiştir) (Küçük harfler (a, b, c) sülfaktanlar ile üretilen örnekler arasındaki farklılığı ifade etmektedir ($p < 0,05$; Duncan).)

5.1.6 Kremalaşma indeksi

QS ve GA ile hazırlanmış emülsiyonlarda iyonik şiddet değiştirildikçe partikül boyutunda önemli bir artış meydana gelmemesine rağmen yüzeyde kremalaşma gözlenmiştir. Bu kremalaşma partikül yüklerindeki dalgalanma ile ilişkilendirilmiştir. İyonik şiddet stabilitesi bölümünde de bahsedildiği gibi NaCl konsantrasyonu arttıkça emülsiyon damlacıkları etrafındaki pozitif yük artması ve partiküllerin birbirine yaklaşması beklenmektedir (Charoen vd., 2011; McClements, 2005). Bu nedenle QS ve GA ile hazırlanmış emülsiyonlarda NaCl konsantrasyonları arttıkça üst katmanda krem tabakalarının oluşmasının nedeninin yük dengesindeki değişimden kaynaklandığı tahmin edilmektedir (Şekil 5.11 ve 5.12). T80 ile hazırlanmış emülsiyonlarda kremalaşma gözlenmediği için grafiğide verilmemiştir.



Şekil 5. 9: QS ile stabilize edilen emülsiyonda NaCl konsantrasyonu değişimi ile birlikte krema oluşturma indeksi.



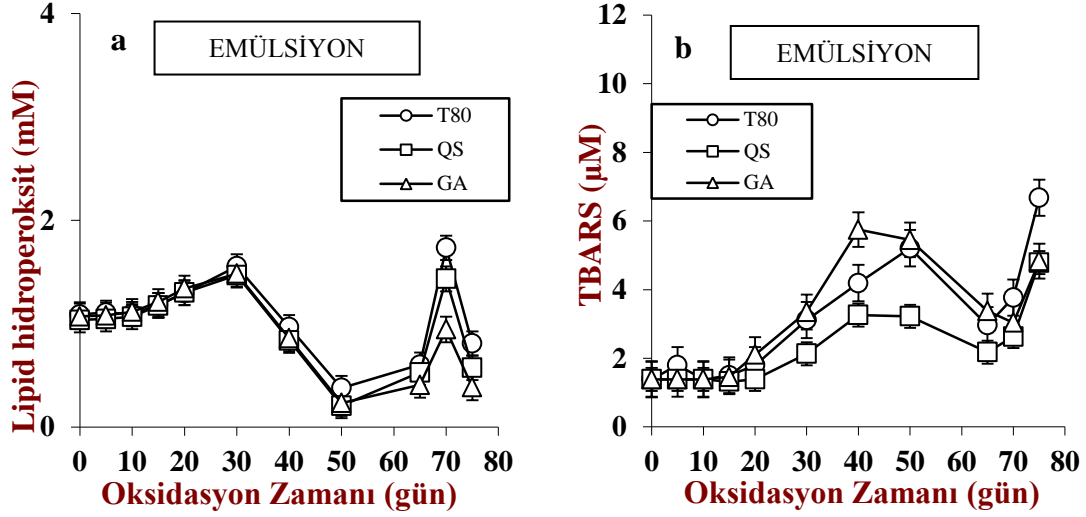
Şekil 5. 10: GA ile stabilize edilen emülsiyonda NaCl konsantrasyonu değişimi ile birlikte krema oluşturma indeksi

5.2 Oksidatif stabilite testleri

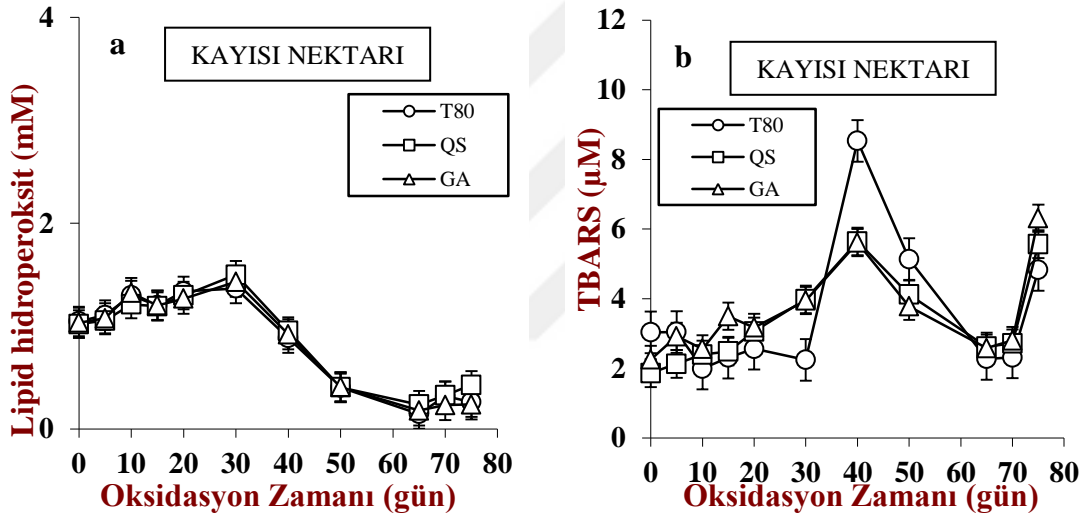
Emülsiyon sistemlerinde lipit oksidasyonu serbest radikallerin damlacıklar içindeki doymamış yağ asitleri ile etkileşimi nedeniyle yağ-su ara yüzeyinde meydana gelir (Arab-Tehrany vd., 2012; McClements ve Decker, 2000). Emülsiyonlardaki lipit oksidasyonu genellikle hidroperoksitleri serbest radikallere parçalayan ve bu amaçla oksidasyonu hızlandırıcı etki gösteren demir gibi geçiş metallerince katalizlenir. Bu nedenle emülsiyon sistemlerindeki lipit oksidasyon düzeyi, çoklu doymamış yağ asitlerinin ve geçiş metalleri veya hidroperoksitler gibi pro-oksidanların sistemdeki mevcudiyetine bağlıdır (McClements ve Decker, 2000). Bu çalışmada 4°C’ de 75 günlük ve 37°C’de 10 günlük bir oksidasyon çalışması boyunca % 5 emülsiyon eklenmiş kayısı nektarlarının ve aynı oranda balık yağı içeren emülsiyonların, oksidatif stabilitelerini belirlemek için birincil ve ikincil oksidasyon ürünleride belirlenmiştir. Birincil bozulma ürünlerini tespit etmek için peroksit değerleri, ikincil bozulma ürünlerini tespit etmek için tiyobarbütik asit sayısında meydana gelen değişiklikler TBARS yöntemi ile ölçülmüştür.

Çalışmanın bu ve bundan sonraki bölümlerinde antioksidan madde eklenmemiş örneklerden kontrol grubu olarak bahsedeceğim.

4 °C’de depolanan kontrol grubu emülsiyonların hidroperoksit değerlerinde ilk 30 gün daha stabil bir artış görülmüştür. Daha sonra 30. günden 50. güne kadar lipit hidroperoksit oluşumu yavaşlamış 70. günde maksimum seviyeye ulaşmıştır (Şekil 5.13a). Emülsiyonların TBARS değerinin ise T80 ve QS ile stabilize edilen örneklerde 20. günden itibaren hızla arttığı ve en yüksek seviyesine sırasıyla 75. Ve 40. günlerde ulaştığı görülmüştür (Şekil 5.13b). GA ile stabilize edilen emülsiyonların TBARS değerinin ise 15. günden itibaren hızla arttığı ve 75. gün en yüksek seviyeye ulaştığı görülmektedir (Şekil 5.13b). 4 °C’de depolanan Omega-3 yağ asitlerince zenginleştirilmiş kayısı nektarı örneklerinin kontrol grubunda ise lipit hidroperoksit konsantrasyonlarının tümünde 30. Güne kadar artış olduğu ve 30. günden itibaren azalmaya başladığı görülmektedir (Şekil 5.14a). TBARS değerlerinde ise QS ve GA ile stabilize edilen örneklerde 20. güne kadar Ve T80 ile stabilize edilen örneklerde 30. Güne kadar daha yavaş bir artış görülürken tümünün 50. günde max seviyeye ulaştığı görülmektedir(Şekil 5.14b). T80 ile stabilize edilen emülsiyon içeren kayısı nektarı örneklerinin diğer örneklere göre oksidatif stabilitesi daha yüksektir.

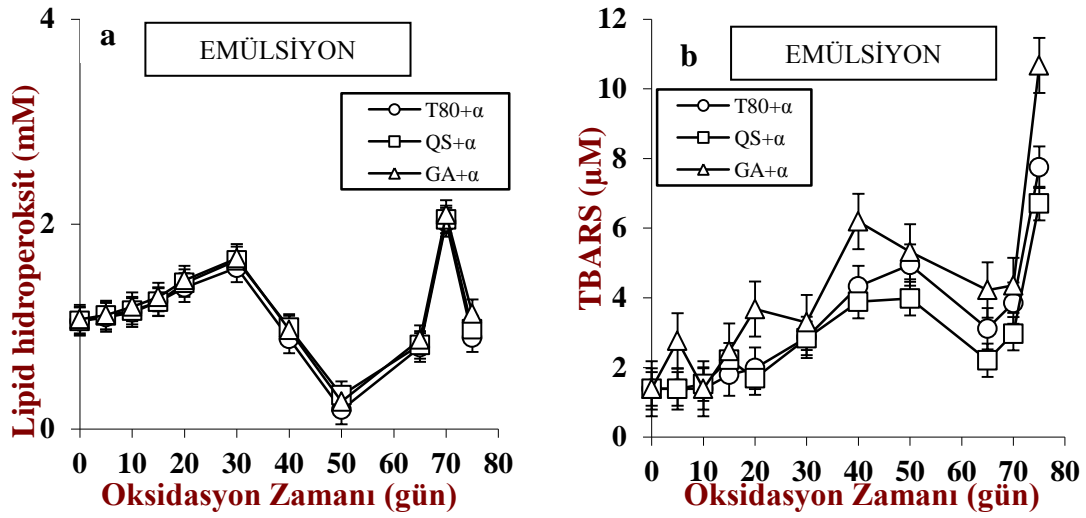


Şekil 5. 11: T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonların 4 °C’de oksidasyonu süresince (a) hidroperoksit değerleri ve (b) TBARS değerleri

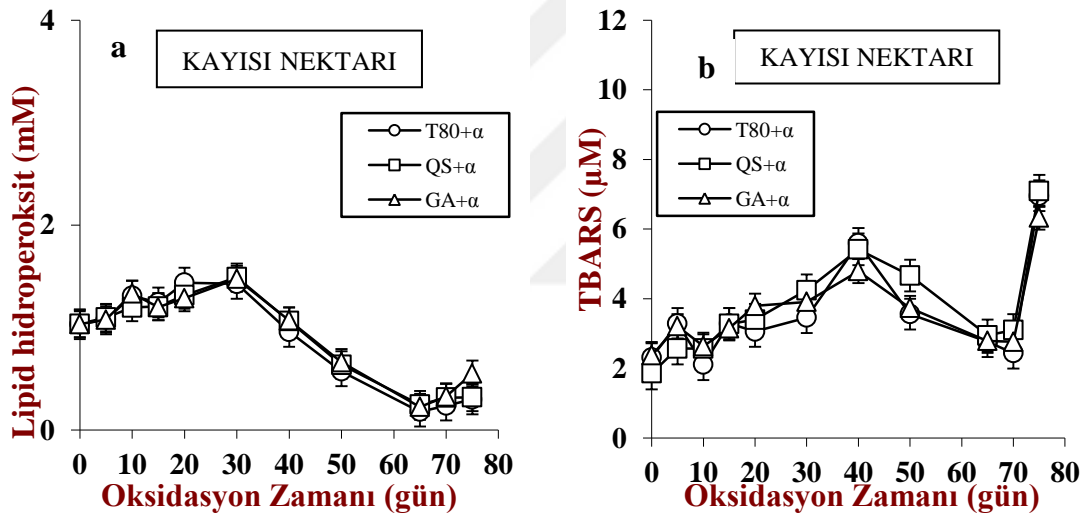


Şekil 5. 12: T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonlar eklenmiş kayısı nektarlarının 4 °C’de oksidasyonu süresince (a) hidroperoksit değerleri ve (b) TBARS değerleri

4 °C’de depolanan α -tokoferol eklenen emülsiyonların lipit hidroperoksit seviyelerinde kontrol grubuna göre önemli bir fark yoktur (Şekil 5.15a). Fakat TBARS değerleri incelendiğinde GA ile stabilize edilen emülsiyonların 10. günden itibaren daha düzenli arttığı görülmektedir, T80 ve QS ile stabilize edilen emülsiyonların TBARS değerlerinin ise 20. günden itibaren arttığı görülmektedir (Şekil 5.15b). Tüm emülsiyonların en yüksek TBARS değeri oksidasyonun son gününde ölçülmüştür. α -tokoferol içeren Omega-3 yağ asitlerince zengin Kayısı nektarlarının lipit hidroperoksit sayılarında kontrol grubuna göre önemli bir fark yoktur (Şekil 5.16a). TBARS değerlerinde ise tüm emülsiyonların özellikle T80 ve QS ile stabilize edilen örneklerin kontrol grubuna göre daha stabil olduğu görülmüştür (Şekil 5.16b).



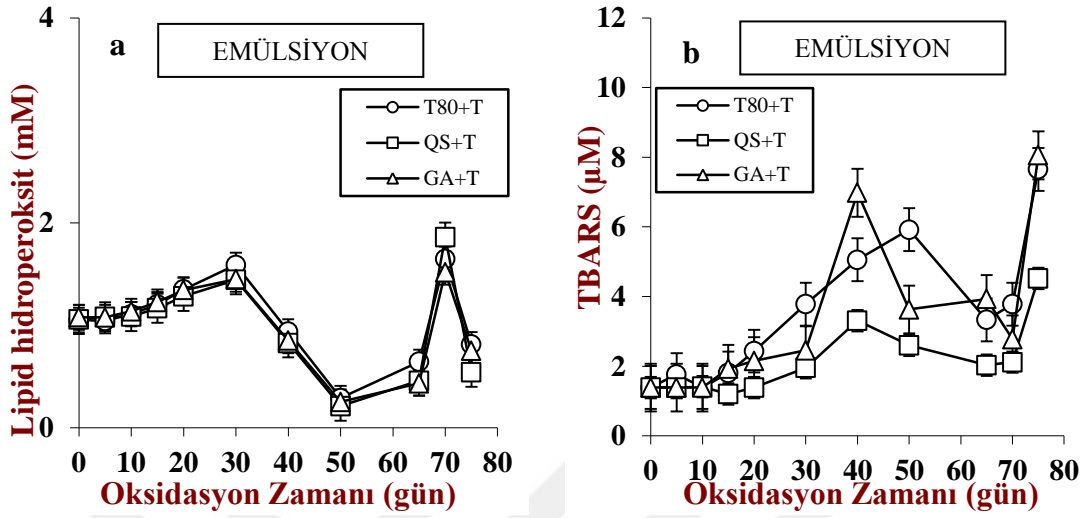
Şekil 5. 13: α -tokoferolün T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonların 4 °C’de oksidasyonu süresince (a) hidroperoksit değerleri ve (b) TBARS değerleri



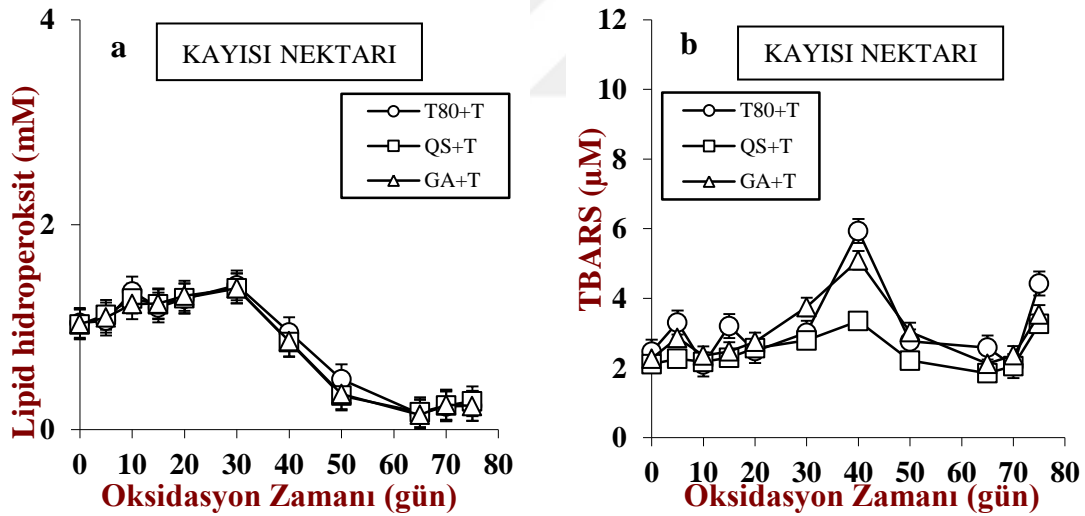
Şekil 5. 14: α -tokoferolün T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonlar eklenmiş kayısı nektarlarının 4 °C’de oksidasyonu süresince (a) hidroperoksit değerleri ve (b) TBARS değerleri

4 °C’de depolanan trolox eklenmiş emülsiyonların lipit hidroperoksit konsantrasyonlarında kontrol grubuna göre önemli bir fark yoktur (Şekil5.17a). TBARS değerleri ise T80 ve GA ile stabilize edilen örneklerde 10. günden itibaren artmıştır. QS ile stabilize edilen emülsiyonlarda TBARS değeri 20. güne kadar stabil iken 20. günden itibaren artmaya başlamıştır. GA içeren emülsiyonlarda 40. günde T80 ve QS içeren emülsiyonlarda ise 50. günde TBARS değerlerinin maksimum seviyeye ulaştığı görülmektedir (Şekil 5.17b). Trolox içeren Omega-3 yağ asitlerince zengin Kayısı nektarlarının lipit hidroperoksit sayılarında kontrol grubuna göre önemli bir fark yoktur (Şekil 5.18a). TBARS değerleri T80 ve QS içeren kayısı nektarlarında 30., GA içeren

kayısı nektarlarında ise 20. günden itibaren artmıştır.(Şekil 5.18b). QS ile stabilize edilmiş emülsiyon içeren kayısı nektarlarının TBARS değerleri oksidasyonun son gününe kadar daha stabil bir artış göstermiştir.



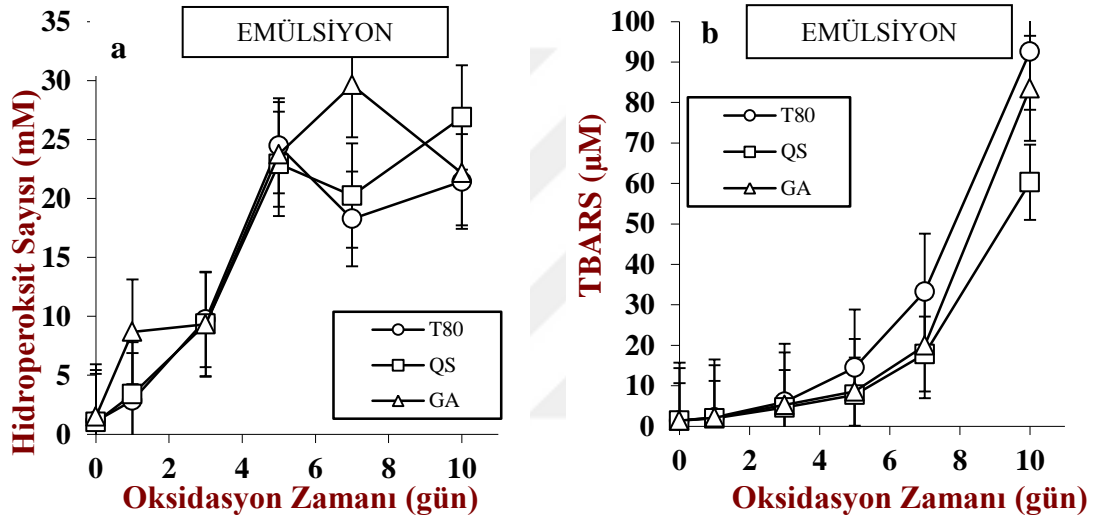
Şekil 5.15: Trolox'un T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonların 4 °C'de oksidasyonu süresince (a) hidroperoksit değerleri ve (b) TBARS değerleri



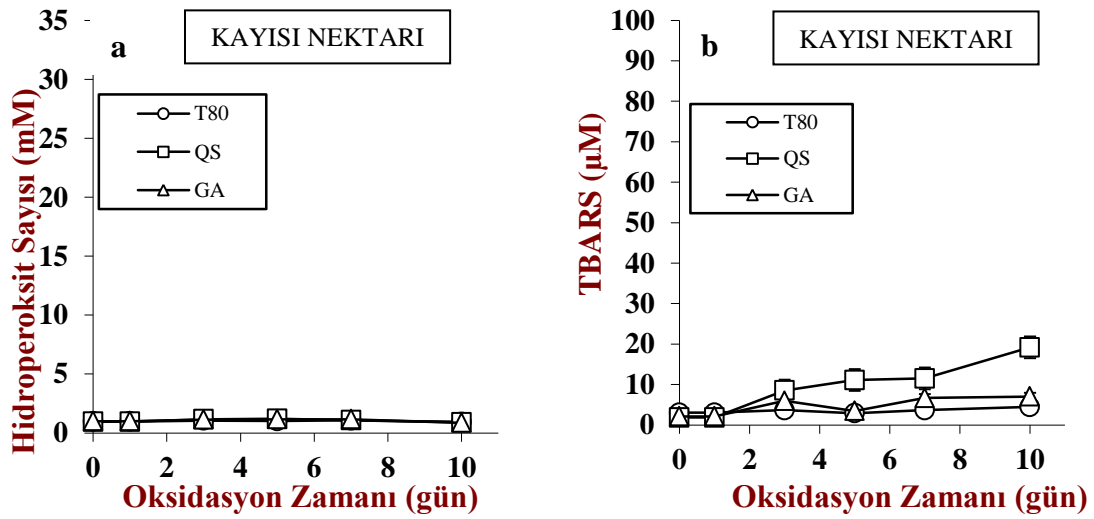
Şekil 5.16: Trolox'un T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonlar eklenmiş kayısı nektarlarının 4 °C'de oksidasyonu süresince (a) hidroperoksit değerleri ve (b) TBARS değerleri

Emülsiyonlarda ve kayısı nektarlarında α -tokoferol ve trolox bulunması oksidatif stabiliteyi olumlu yönde etkilenmiştir. Özellikle Trolox eklenen örneklerde oksidatif stabilite α -tokoferol içeren örneklere göre daha olumlu etkilenmiştir. Bu durum polar paradoks ile açıklanmaktadır (Kıralan, vd., 2014).

37⁰ C’de 10 günlük depolama süresince gerçekleştirilen oksidasyon verileri incelendiğinde emülsiyon örneklerinin kontrol grubunun lipit hidroperoksit değerlerinin T80 ve QS içeren emülsiyonlarda 5. güne kadar GA içeren emülsiyonların ise 7. güne kadar hızla arttığı görülmektedir (Şekil 5.19a). Genellikle küçük damlacık içeren emülsiyonların oksidasyonu daha hızlı olmasına rağmen bazı durumlarda bu etki değişebilmektedir (Walker, 2015). Emülsiyonların TBARS değerleri ise T80 ile stabilize edilen örneklerde 3. Günden, QS ve GA içerenlerde ise 5. günden itibaren hızla arttığı görülmüştür (Şekil 5.19b). Omega-3 yağ asitlerince zenginleştirilmiş kayısı nektarı kontrol grubu örneklerinde lipit hidroperoksit değerlerinin oksidasyonun son gününe kadar stabil olduğu görülmektedir (Şekil 5.20a).

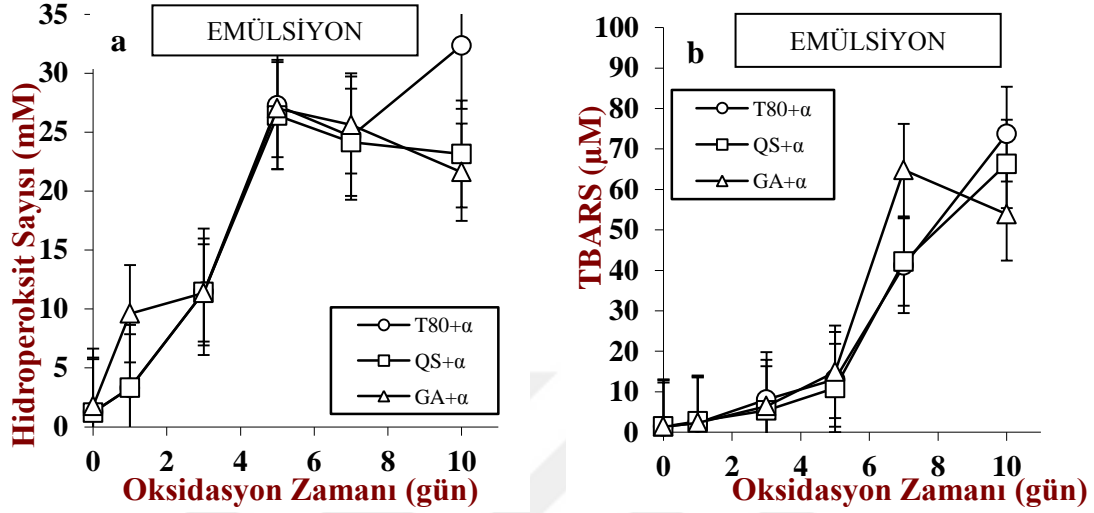


Şekil 5. 17: T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonların 37 °C’de oksidasyonu süresince (a) hidroperoksit değerleri ve (b) TBARS değerleri

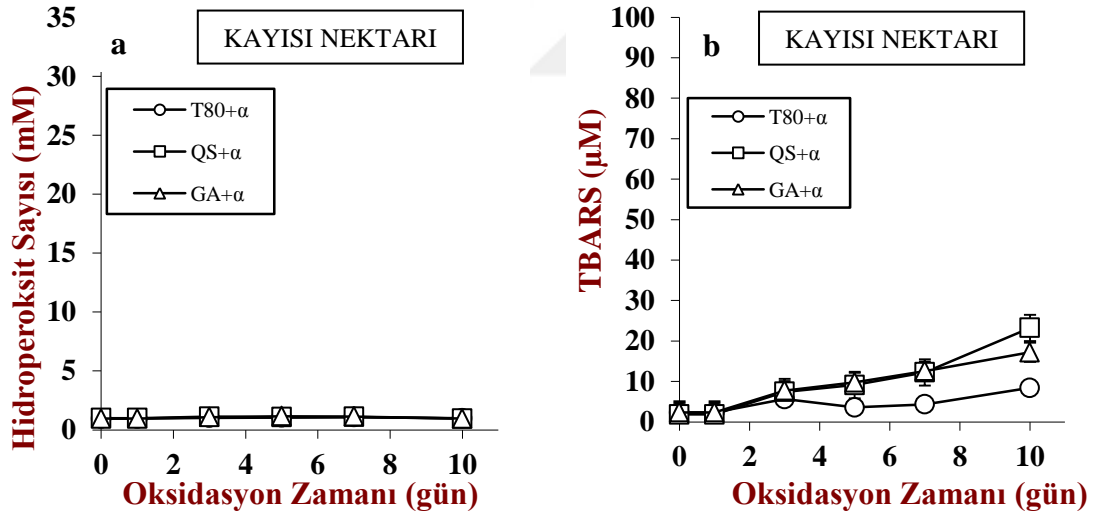


Şekil 5. 18: T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonlar eklenmiş kayısı nektarlarının 37 °C’de oksidasyonu süresince (a) hidroperoksit değerleri ve (b) TBARS değerleri

37⁰ C’de depolanan kayısı nektarı örneklerinin TBARS değerleri ise T80 ve GA ile stabilize edilen emülsiyon içerenlerde lipit peroksit konsantrasyonuna benzer şekilde sabit ilerlerken QS ile stabilize edilen emülsiyon içerenlerde 1. günden itibaren yavaş ilerleyen bir artış söz konusudur (Şekil 5.20b).



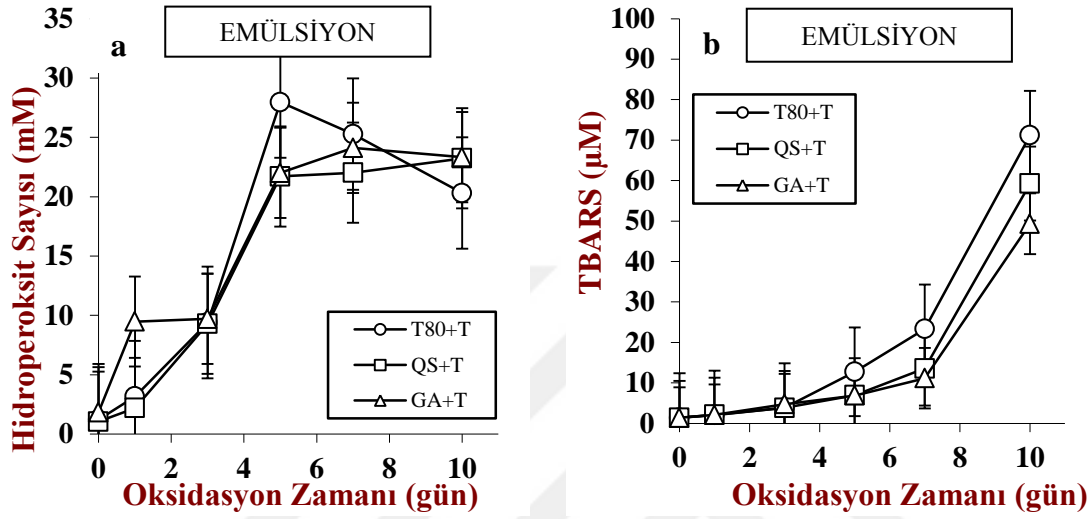
Şekil 5. 19: α -tokoferolün T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonların 37 °C’de oksidasyonu süresince (a) hidroperoksit değerleri ve (b) TBARS değerleri



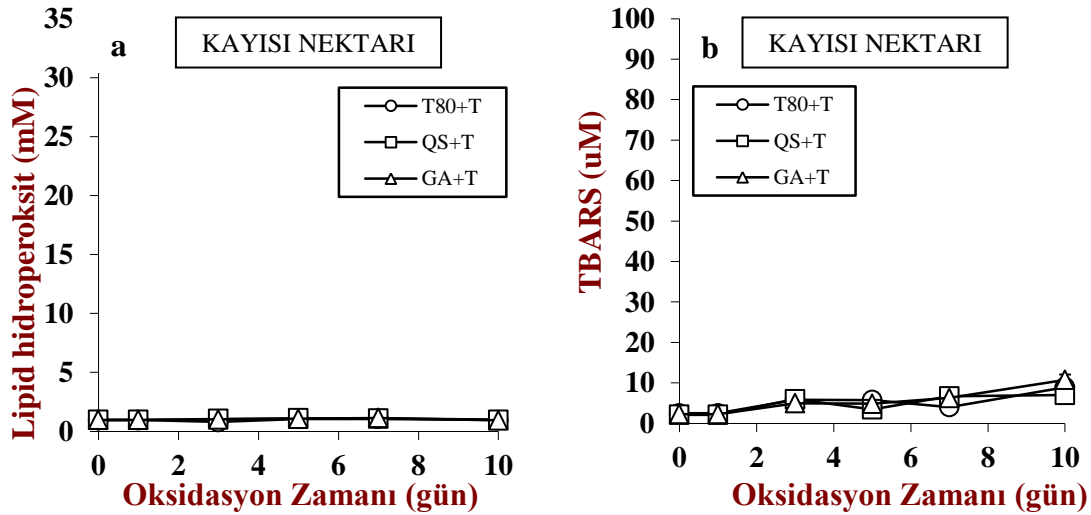
Şekil 5. 20: α -tokoferolün T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonlar eklenmiş kayısı nektarlarının 37 °C’de oksidasyonu süresince (a) hidroperoksit değerleri ve (b) TBARS değerleri

37⁰ C’de depolanan α- tokoferol eklenmiş emülsiyonların lipit hidroperoksit konsantrasyonları kontrol grubuna benzer şekilde 5. güne kadar hızla artmıştır (Şekil 5.21a). TBARS değerleride de aynı şekilde tüm emülsiyonlarda 5. günden itibaren hızla artışa geçmiştir (Şekil 5.21b). α- tokoferol eklenmiş Omega-3 yağ asitlerince

zenginleştirilmiş kayısı nektarı örneklerinde lipit hidroperoksit değerlerinin oksidasyonun son gününe kadar stabil olduğu görülmektedir (Şekil 5.22a). TBARS değerlerine bakıldığında QS ve GA ile stabilize edilen örneklere göre T80'nin daha stabil olduğu görülmektedir (Şekil 5.22b). T80 ve QS kontrol grubuna benzer TBARS artışı gösterirken GA içeren kayısı nektarlarında α -tokoferol eklenmesiyle kontrol grubuna göre TBARS değerlerinde artış görülmektedir.



Şekil 5. 21: Trolox'un T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonların 37 °C'de oksidasyonu süresince (a) hidroperoksit değerleri ve (b) TBARS değerleri



Şekil 5. 22: Trolox'un T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonlar eklenmiş kayısı nektarlarının 37 °C'de oksidasyonu süresince (a) hidroperoksit değerleri ve (b) TBARS değerleri

37⁰ C'de depolanan trolox eklenmiş emülsiyonların lipit hidroperoksit değerleri tüm emülsiyonlarda 5. Gün maximum seviyesine ulaşmıştır (Şekil 5.23a). TBARS değerleri ise T80 içeren örneklerde 3. günden itibaren hızla artmaya başlarken, QS ve GA

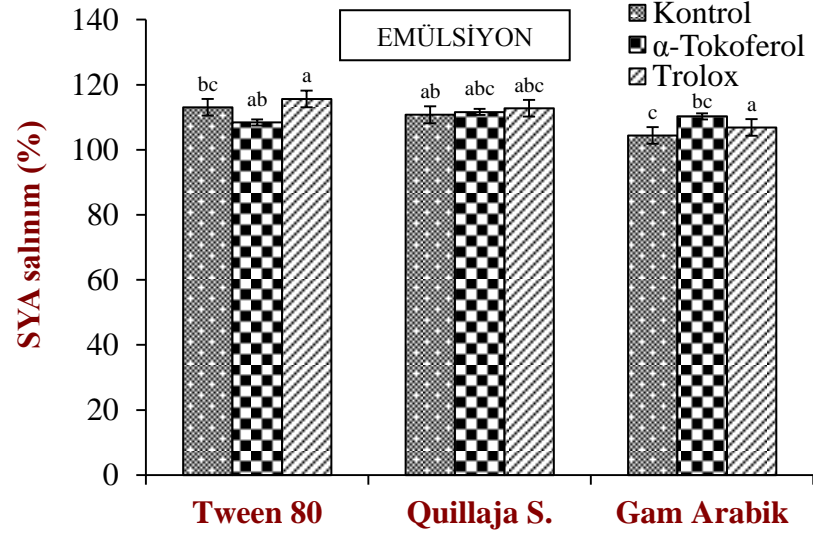
içeren emülsiyonlarda ise 7. Güne kadar daha stabil bir artış gösterip 7. Günden itibaren hızla artmıştır (Şekil 5.23b). Trolox içeren Omega-3 yağ asitlerince zengin Kayısı nektarlarının lipit hidroperoksit sayıları ve TBARS değerleri 10. Güne kadar yavaş bir şekilde stabil olarak artmıştır (Şekil 5.24a ve Şekil 5.24b).

Çalışmada kullanılan kayısı nektarında doğal olarak bulunan şekerin oksidatif bozulmayı yavaşlattığı düşünülmektedir. Bu durum çözünmüş şekerin, oksijenin su fazındaki çözünürlüğünü azaltarak ve sulu fazın viskozitesini arttırarak reaktif oksijen türlerinin hareketini kısıtlaması ile açıklanmıştır. (McClements ve Decker, 2000). Kayısı nektarının şeker ve diyet liflerinin yanısıra antioksidatif etkisi olan C vitamini, fenolik bileşikler ve karotenoidler gibi bileşikleri de içerdiği bilinmektedir. Yaygın ismi ile C vitamini olarak bilinen askorbik asidin metal indirgeme gücü vardır ve Fe^{+3} iyonlarını oksidasyon açısından daha reaktif olan Fe^{+2} iyonlarına indirgerler. Bu nedenle lipit hidropeoksitler ikincil bozulma ürünlerine hızla parçalandığından lipit peroksit değerlerinin oluşumunda herhangi bir artış gözlemlenmeyebilir (Ribeiro vd., 2003; Uluata vd., 2015a). Moberger ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada su içinde yağ emülsiyonlarında askorbik asit varlığının oksidasyon oranında bariz bir azalma sağladığını; kontrol grubunun ise askorbik asit olmadan oldukça oksitlendiğini gözlemlemişlerdir. İlaveten karatenoidlerin de özellikle lipid fazındaki serbest radikallerin etkisiz hale getirme kapasitelerinin oldukça yüksek olduğu bilinmektedir (Ribeiro, Ax, ve Schubert, 2003). Bütün bu sonuçlardan yola çıkarak balık yağı emülsiyonları eklenmiş kayısı nektarlarında oksidatif bozulmanın yavaş ilerlemesi kayısı nektarının içerdiği askorbik asit, β -karoten ve fenolik bileşikler gibi antioksidan etkiye sahip bileşiklerin varlığı ve şeker içermesi ile açıklanabilmektedir. Ayrıca emülgatör tiplerinin oksidasyon üzerine farklı etkilerinin olması demiri şelatlama, serbest radikalleri temizleme, lipit hidroperoksitler ve demir arasındaki etkileşimlere müdahale etme ve yağ damlacıkları etrafında fiziksel bir bariyer oluşturma yetenekleri ile ilişkili olması ile açıklanabilmektedir. (Haahr & Jacobsen, 2008).

5.3 Omega-3 yağ asidi içeren emülsiyonlarda ve kayısı nektarlarında lipit sindirimi

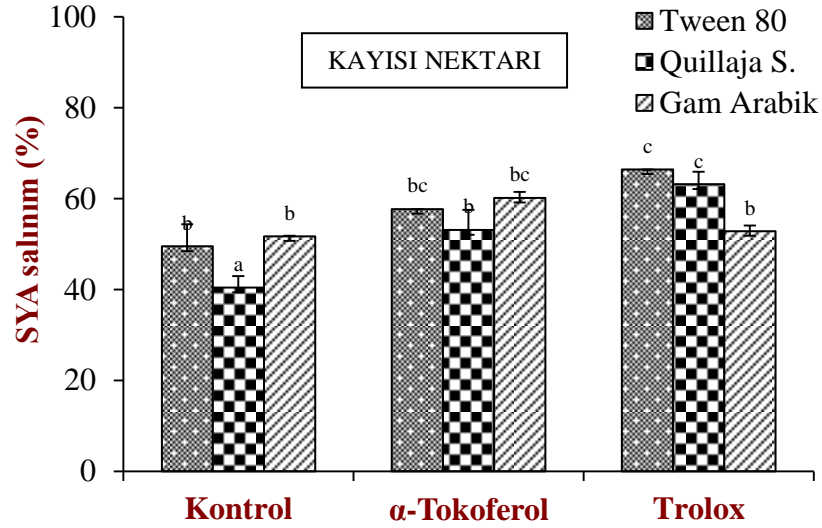
Farklı sürfaktanlar kullanılarak hazırlanmış emülsiyonların ve bunların eklendiği kayısı nektarlarının simüle ince bağırsak koşullarında sindirimi sonucu serbest yağ asidi (SYA) salınımının sindirim zamanına göre değişimi Şekil 5.25’de verilmiştir. T80, QS ve GA ile hazırlanmış emülsiyon örneklerinde 120 dakikalık sindirim boyunca SYA yüzdeleri sırasıyla %113,1 %110,8 ve %104,4 olarak ölçülmüştür. Serbest yağ asidi salınımının

%100'ün üzerinde çıkması kullanılan sürfaktanların kimyasal yapısında bulunan karboksil gruplarının sindirim sıvısının asitliğini arttırması nedeni ile daha fazla NaOH harcanmasından kaynaklanmaktadır. (Şişlioğlu, 2019; Verrijssen vd., 2015). Tüm emülsiyonların sürfaktan farkı gözetmeksizin % SYA salınımlarının birbirine yakın olması sürfaktanların yapısal özelliklerinin Omega-3 yağ asitlerinin sindirimini etkilemediğini göstermiştir (Gomes vd., 2019).



Şekil 5. 23: T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonların kontrol grubu, α-tokoferol eklenmiş ve Trolox eklenmiş emülsiyonların % SYA salınımları (Küçük harfler (a, b, c) sürfaktanlar ile üretilen örnekler arasındaki farklılığı ifade etmektedir (p<0,05; Duncan).)

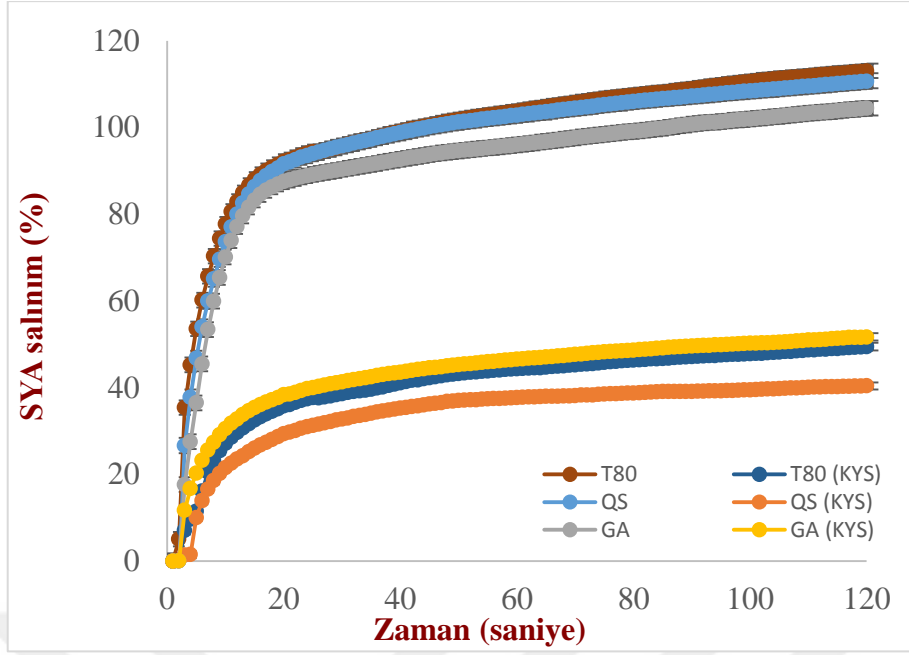
T80, QS ve GA ile stabilize edilmiş balık yağı emülsiyonları eklenmiş kayısı nektarlarının % SYA salınımları ise sırasıyla %49.5, %40.41 ve %51.74 olarak ölçülmüştür (Şekil 5.26). α-tokoferolün tüm kayısı nektarı örneklerinde %SYA oranını arttırdığı görülmüştür (Şekil 5.27, Şekil 5.28 ve Şekil 5.29). Troloxun ise T80 ve QS ile stabilize edilen emülsiyonlar içeren kayısı nektarlarında %SYA oranını arttırırken, GA ile stabilize edilen emülsiyon içeren kayısı nektarlarında ise % SYA oranını düşürücü etki göstermiştir. Bu durum α-tokoferol ve Troloxun kayısı nektarında bulunan askorbik asit ve β- karoten gibi antioksidan maddeler ve farklı sürfaktan maddeler ile farklı oranlarda sinerjistik etki göstermesi ile açıklanabilmektedir (Yi, vd., 1991).



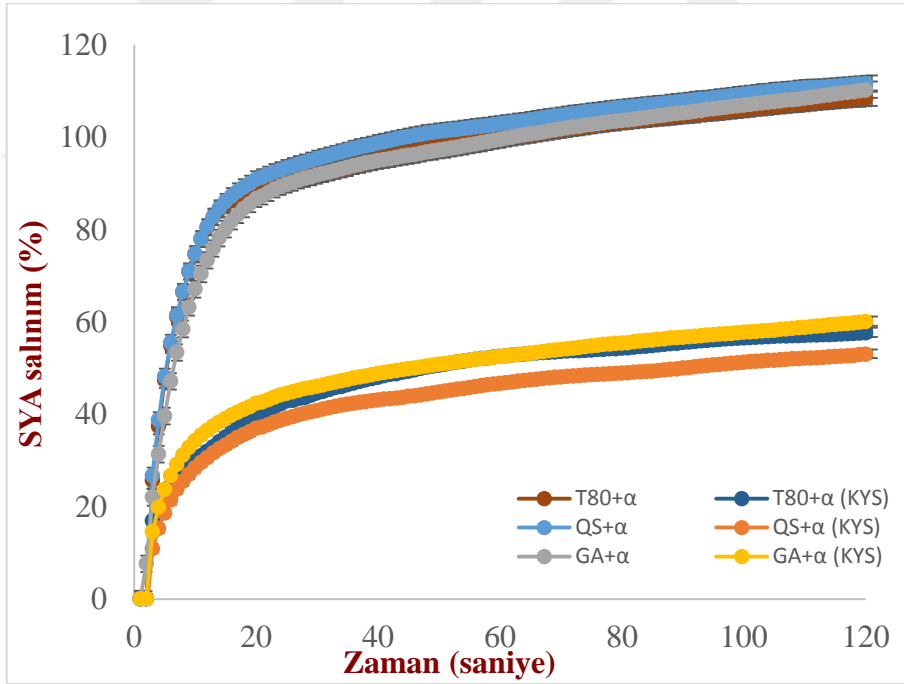
Şekil 5. 24: T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonların Kontrol (antioksidan eklenmemiş), α-tokoferol eklenmiş ve Trolox eklenmiş emülsiyonları eklenmiş kayısı nektarlarının % SYA salınımları (Küçük harfler (a, b, c) sümfaktanlar ile üretilen örnekler arasındaki farklılığı ifade etmektedir ($p < 0,05$; Duncan).)

Kayısı nektarında bulunan diyet liflerinin ince bağırsakta viskozite artışına neden olarak besinlerin veya antioksidanların salınım oranını azalttığı böylece biyoyeçişliliği azalttığı düşünülmektedir (Palafox-carlos vd., 2011). Lipit yapıları bileşiklerin ince bağırsak ortamında sindirimi sırasında ortamda besinsel diyet liflerinin bulunması lipazın emülsiyon partikülleri ile etkileşime girmesine neden olur. Bunun sonucunda arayüzey oluşmasına bağlı olarak bu lipit yapıları lipaz ile etkileşime girer ve trigliserit formundan serbest yağ asidine dönüşen yağların safra tuzu ile çevrelenerek misel oluşturur. Oluşan miseller diyet lifleri tarafından tutarak/hapsedilerek lipit yapıları bileşiklerin emilimleri engellenir. Ayrıca lipazın hidrolizi ile oluşan ürünler ortam koşullarına bağlı olarak safra tuzları, karotenoidler ve fosfolipitler gibi lipofilik bileşiklerle misel oluşturarak sindirim verimliliğini etkileyebilir. Lipit sindirimi sırasında ortamda yüzey aktif maddelerin bulunmasının lipaz aktivitesine müdahale eden diğer bir etken olduğu düşünülmektedir (Verrijssen vd., 2015).

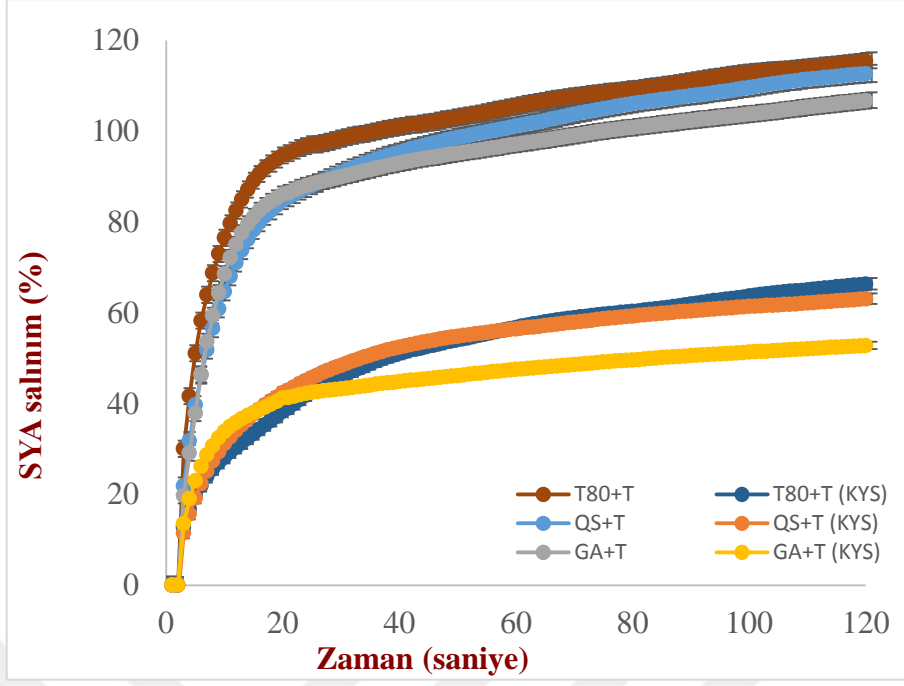
Emülsiyon ve kayısı nektarı örnekleri aynı miktarda yağ içermelerine rağmen serbest yağ asidi salınımları arasında yaklaşık 2 katı fark bulunması kayısı nektarının diyet lifi içeriği ile açıklanmaktadır. Diğer yandan antioksidan ajanların serbest yağ asidi salınımı üzerindeki en önemli değişikliği QS ile stabilize edilmiş emülsiyon içeren kayısı nektarlarında gerçekleştirdiği görülmektedir.



Şekil 5. 25: T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonlar ve bu emülsiyonların eklendiği kayısı nektarlarında % SYA salınımı



Şekil 5. 26: α- tokoferolün T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonlar ve bu emülsiyonların eklendiği kayısı nektarlarında %SYA salınımı üzerindeki etkileri



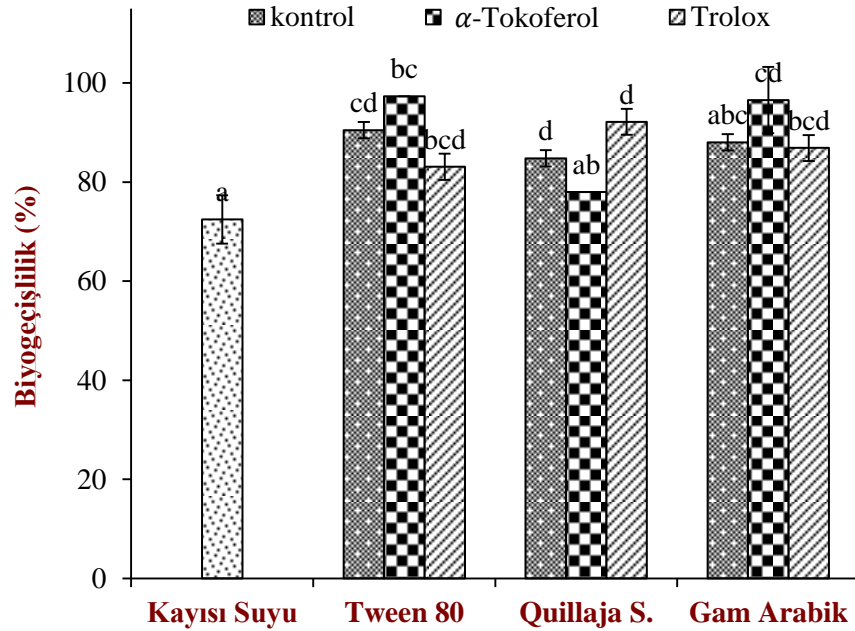
Şekil 5. 27: Trolox'un T80, QS ve GA ile stabilize edilen emülsiyonlar ve bu emülsiyonların eklendiği kayısı nektarlarında %SYA salınımı üzerindeki etkileri

5.4 Omega-3 yağ asidi içeren emülsiyon ilavesinin kayısıda bulunan β -karotenin Biyoerişilebilirliği üzerine etkisi

Daha önce yapılan çalışmalar karotenoidlerin biyoyeşilliliğinin; gıda matrisinden salınım, lipit damlacıklarına aktarım, sindirim, karışık safra tuzu misellerine dahil olma gibi birçok mekanizma ile gerçekleştiğini göstermiştir (Failla vd., 2008; Palafox-carlos vd., 2011). Karotenoidler lipofilik özellik gösterdiklerinden emilim verimlilikleri doğrudan lipofilik moleküllerin diyet liflerindeki çözünürlüğü ile ilişkilendirilmektedir (Hof vd., 2018; Palafox-carlos vd., 2011; Fernández-garcía vd., 2012). Bu bölümde simüle edilen GIS koşullarında üç farklı sürfaktanla hazırlanan antioksidan madde (α -tokoferol ve Trolox) ilaveli ve ilavesiz 9 farklı balık yağı emülsiyonu kayısı nektarına eklenmeden önce ve sonra değerlendirilerek lipit varlığının β -karoten biyoyeşilliliğine etkisi araştırılmak istenmiştir.

Kayısı nektarının β -karoten biyoyeşilliliği %72 iken emülsiyon eklenmiş olan kayısı nektarlarında ise bu oranın T80 ile QS bulunduran kayısı nektarlarında %90'lara kadar çıktığı tespit edilmiştir (Şekil 5.30). Kayısı nektarında bulunan diyet lifleri lipit sindirimini etkilese de, lipit damlacıklarının ortamda bulunması ile β -karoten biyoyeşilliliği emülsiyon içermeyen kayısı nektarındaki biyoyeşillilik oranına kıyasla artış

göstermiştir. Burada biyoerişilebilirliğin lipid partiküllerinin hidrofobik karaktere sahip olan karotenoidlere yaklaşım birleşmesinin veya karotenoidlerin safra tuzlarının etkisiyle su fazında misel oluşturmuş ya da burada çözülmüş karotenoidlere bağlanmasının artışa sebep olduğu düşünülmektedir (Hof vd., 2018).



Şekil 5. 28: T80, QS ve GA ile stabilize edilen balık yağı emülsiyonları eklenmiş kayısı nektarlarına ait (%) biyoerişilebilirlik oranları (Küçük harfler (a, b, c) sürfaktanlar ile üretilen örnekler arasındaki farklılığı ifade etmektedir ($p < 0,05$; Duncan).)

α -tokoferol eklenmesi ile T80 ve GA ile stabilize edilmiş emülsiyon eklenmiş kayısı nektarlarında β -karoten biyoerişilebilirliğinde artış görülürken, QS ile stabilize edilmiş emülsiyon eklenmiş kayısı nektarlarında ise benzer oranda bir azalma gözlenmiştir. Literatürverileri incelendiğinde QS nin α -tokoferolün antioksidan etkisini artıracığı yönünde öngörüler olsa da (Küçükkurt ve Fidan, 2008) bu çalışmada β -karotenin biyoyararlanımı sırasında maruz kaldığı oksidatif bozulma ya da parçalanmalara karşı α -tokoferolün antioksidan etkisini arttırdığı yönünde bir değişim gözlemlenmemiştir. Trolox ilavesinin ise GA ile stabilize edilmiş emülsiyon eklenmiş kayısı nektarlarında β -karoten biyoerişilebilirliğine önemli bir etkisi olmazken QS ile stabilize edilmiş emülsiyon eklenmiş kayısı nektarlarının β -karoten biyoerişilebilirliğinde yaklaşık %10 oranında artış sağladığı tespit edilmiştir. T80 ile stabilize edilmiş balık yağı emülsiyonu içeren kayısı nektarlarında ise Trolox eklenmesi β -karoten biyoerişilebilirliğinde azalmaya neden olmuştur.

5.5 Omega-3 yağ asitlerince zenginleştirilmiş kayısı nektarlarında renk tayini

Emülsiyon eklenmesinin kayısı nektarının rengine etkilerinin araştırılması amacıyla %5 emülsiyon içeren kayısı nektarları ve kontrol olarak sade kayısı nektarı kullanılarak emülsiyon eklenen kayısı nektarlarının L^* , a^* , b^* ve ΔE^* değerlerindeki değişimler Çizelge 5.1’de verilmiştir. Emülsiyon eklenmiş ve eklenmemiş kayısı nektarlarının toplam renk değişimini ifade eden ΔE^* değerleri arasında önemli bir fark bulunmamıştır ($p>0,05$). İşlenmiş gıdaların genel kabul edilebilirliklerini belirleyen en önemli özelliklerden biri de renkleridir. Bu amaçla emülsiyon ilavesinin kayısı nektarına eklenmesi ile renk özelliklerinin değişimi incelenmiştir. Sonuç olarak kayısı nektarına %5 emülsiyon eklenmesi ile Tristumulus renk koordinatları olan L, a, b değerlerinde önemli bir farklılık olmadığını, emülsiyon eklenmesinin ürünün renge dayalı genel kabul edilebilirliğini etkilemeyeceğini görülmüştür.

Çizelge 5.1: Farklı sürfaktanlar ile stabilize edilmiş emülsiyonlar eklenmiş kayısı nektarlarının L^* , a^* , b^* ve ΔE^* renk değerleri

Örnek Kodu	L^*	a^*	b^*	ΔE
KYS	90,52±0,014	-0,485±0,009	0,205±0,013	39,22±0,014
T80	90,66±0,012	-0,47±0,005	0,28±0,005	39,28±0,007
QS	90,64±0,007	-0,46±0,011	0,28±0,011	39,26±0,010
GA	90,66±0,009	-0,46±0,009	0,31±0,006	39,26±0,013

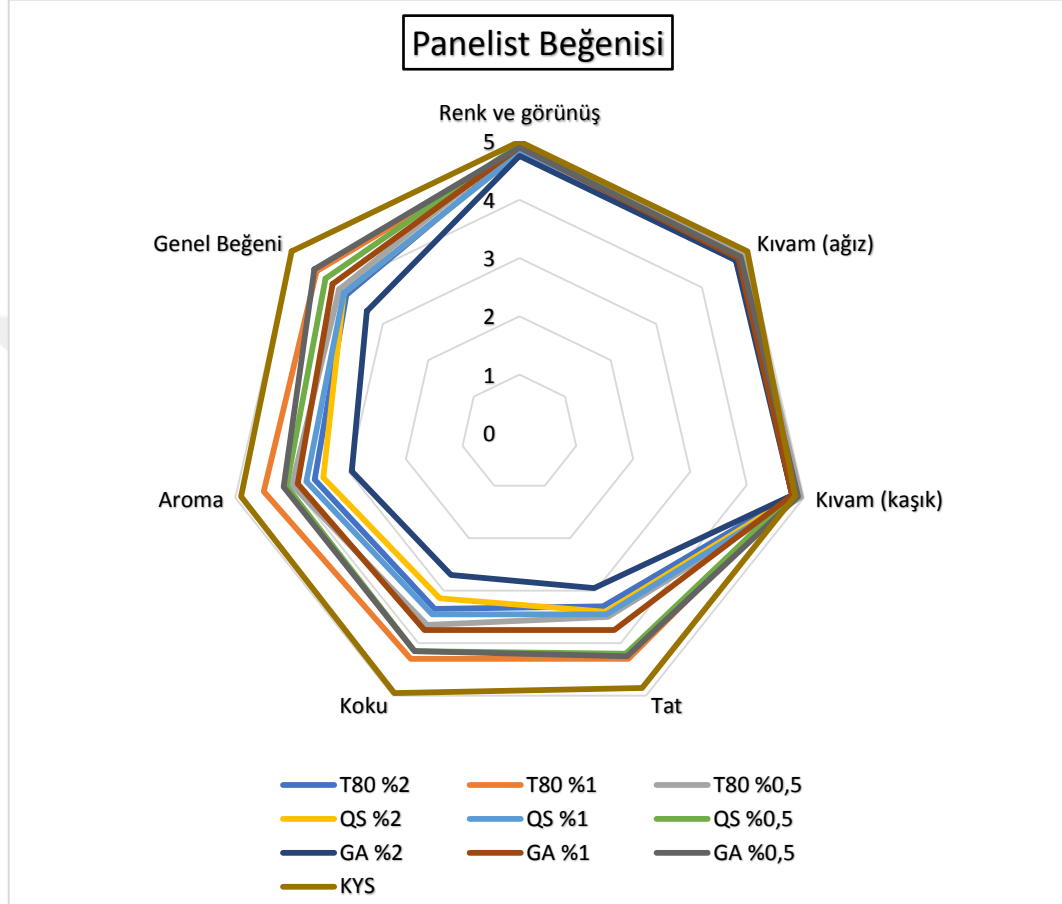
5.6 Omega-3 yağ asitlerince zenginleştirilmiş kayısı nektarlarında duyuşal değerlendirme

Kayış nektarları T80, QS, GA ile emülsifüye edilmiş balık yağı içeren preparatlarca %0.5, %1 ve %2 emülsiyon içerecek şekilde zenginleştirilmiştir. Omega-3 yağ asitlerince zenginleştirilmiş toplam 9 farklı kayısı nektarının renk ve görünüş, lezzet, koku ve genel kabul edilebilirlik gibi özellikleri 7 özelliğı emülsiyon eklenmemiş kayısı nektarı kontrol kabul edilerek 10 eğitimşiz panelistin değerlendirme puanları (1: çok kötü, 2: kötü, 3: orta, 4: iyi, 5: çok iyi) ile değerlendirilmiştir.

Panel sonuçlarına göre (Çizelge 5.2) hemen hemen tüm kayısı nektarlarının kıvam özellikleri ile renk ve görünüş özelliklerinin sade kayısı nektarı ile aynı beğeniye sahip olduğı görülmüştür. Genel beğeniş en yüksek olan kayısı nektarları % 0.5 oranında

emülsiyon içeren kayısı nektarları olduğu tespit edilmiştir. Konsantrasyon arttıkça balık yağının keskin kokusunun algılanması ile ilişkili olarak beğeni oranı da buna paralel olarak düşmüştür.

Çizelge 5.2: Omega-3 yağ asitlerince zenginleştirilmiş kayısı nektarlarının değerlendirme kriterlerine göre hazırlanmış grafiği



GA ile stabilize edilmiş emülsiyonun %2 oranında katıldığı kayısı nektarları panelistler tarafından düşük beğeni oranına sahiptir. Bu durum GA ile stabilize edilmiş emülsiyonların en büyük partikül çapına sahip olması ile açıklanabilmektedir ($d=542$ nm). Mayonezin balık yağı ile zenginleştirilmesi ile ilgili yapılan bir çalışmada damlacık boyutu büyüdükçe aromanın daha baskın olduğu tespit edilmiştir (Jacobsen vd., 1999).

Emülsiyondaki damlacık boyutu ve balık yağı konsantrasyonu en düşük olan kayısı sularının panelistler tarafından en beğenilen ürünler olduğu tespit edilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Mikro-akışkanlaştırıcı yardımı ile stabilize edilen % 5 balık yağı, %1 sürfaktan (T80, QS ve GA) ve fosfat tamponu (pH 7) içeren emülsiyonların partikül boyutları küçükten büyüğe doğru T80(d =125 nm), QS(d = 147 nm) ve GA(d = 542 nm) şeklindedir. Tüm emülsiyonlar nanoemülsiyon boyutunda elde edilmiştir. Tüm emülsiyonların partikül dağılımlarının düzenli olması iyi bir fiziksel stabiliteye sahip olduklarını göstermektedir. Başlangıçta farklı sürfaktanlar (T80, QS, GA) kullanılarak stabilize edilen tüm emülsiyonlar küçük ve anyonik lipit partiküllerine sahip olsada çevresel koşulların değiştirilmesinin emülsiyonların stabilitesi üzerindeki etkileri incelendiğinde QS ile stabilize edilmiş emülsiyonlarda pH ve sıcaklık değişimlerinin etkisi görülmezken NaCl konsantrasyonu arttırıldıkça emülsiyon stabilitesinde azalma olmuştur. Yine iyonik şiddet değişimine bağlı olarak QS ve GA ile stabilize edilmiş emülsiyonlarda partikül boyutu yükünde hafif bir dalgalanma olmasına bağlı olarak 200 mM NaCl konsantrasyonundan itibaren kremalaşma görülmüştür. Çevresel koşullardan diğer emülsiyonlara en çok GA ile stabilize edilmiş emülsiyonların etkilendiği tespit edilsede emülsiyonun stabilitesinde önemli bir değişiklik olmamıştır. En küçük partikül boyutuna sahip olan T80 ile stabilize edilmiş emülsiyonların ise çevresel koşullardan etkilenmediği görülmüştür. Sonuç olarak, Omega-3 ile zenginleştirilmiş fiziksel olarak stabil nanoemülsiyonlar hem sentetik (Tween 80) hem de doğal (Quillaja Saponin ve Gam Arabik) sürfaktanlar kullanılarak üretilebilir.

Omega-3 yağ asitlerince zenginleştirilmiş kayısı nektarlarının oksidatif stabilitesinin 4 ve 37°C de sırasıyla 75 ve 10 günlük depolama sırasında emülsiyon örneklerine göre daha stabil olması kayısı nektarının lipit oksidasyonuna karşı koruyucu etkisinin olduğunu katılmaktadır. Ayrıca 4°C'de emülsiyonlar kayısı nektarı örneklerine göre nispeten daha hızlı oksidatif bozulma ürünleri oluşsada hem emülsiyonların hem de kayısı nektarlarının 75 gün oksidatif stabilitesini koruyabildiği tespit edilmiştir. Kayısı nektarına Omega-3 yağ asitlerince zengin emülsiyonlar eklenmesi ile oksidatif bozulmanın uzun süre engellenmesi gelecekte meyve sularının Omega-3 yağ asitlerince zenginleştirilmesi ile elde edilebilecek fonksiyonel ürünlerin geliştirileceği öngörülmektedir. α -tokoferol ve trolox ilavesi oksidatif stabiliteyi olumlu yönde etkilemiştir. Özellikle trolox daha polar bir yapıda olması sebebi ile α -tokoferole göre oksidasyonu önlemede daha başarılı olmuştur. Antioksidan madde olarak α -tokoferol ve trolox ilavesinin oksidatif stabiliteye etkilerini daha net görebilmek için farklı konsantrasyonlar denenerek daha kapsamlı araştırmalar yapılabilir.

Farklı sürfaktanlar ile stabilize edilmiş emülsiyonlar ve bu emülsiyonların eklendiği kayısı nektarlarının *in vitro* ince bağırsak sindirimi sırasında serbest yağ asidi salınımının (SYA) sindirim zamanına göre değişimi araştırılmıştır. Kayısı nektarında bulunan β -karotenin lipit sindirim ürünlerine adsorbsiyonunun β -karoten biyoerişilebilirliği üzerindeki etkisi de bu çalışmaya ek olarak araştırılmıştır. Farklı stabilizatrlerle hazırlanmış emülsiyonların %SYA salınımları arasında önemli bir fark olmamakla birlikte kayısı nektarlarına emülsiyon katılmasıyla %SYA salınımları neredeyse 2 katı azalmıştır. Bu durum ortamda kayısı nektarından gelen diyet lifi varlığının %SYA salınımını azaltıcı etki göstermesi ile açıklanmaktadır. Kayısı nektarlarında % SYA salınımları GA > T80 > QS şeklinde sıralanmaktadır. Antioksidan madde eklenmesinin emülsiyonlar üzerinde önemli bir etkisi olmamıştır. Kayısı nektarlarında ise α -tokoferoltm emülsiyonlarda %FFA salınımını arttırmıştır. Trolox eklenmesi T80 ve QS ile stabilize edilmiş emülsiyon eklenmiş kayısı nektarlarında %SYA salınımını arttırırken GA ile stabilize edilmiş emülsiyon eklenmiş kayısı nektarlarında %SYA salınımını düşürmüştür. Bu durum α -tokoferol ve Trolox'un kayısı nektarında bulunan β -karoten ve C vitamini gibi bileşiklerin antioksidatif etkisini değiştirmesi ve bunun sonucunda %SYA salınımlarını değiştirmesi ile açıklanabilmektedir.

β -karoten biyoyararlanımının emülsiyon eklenmemiş kayısı nektarında emülsiyon eklenen kayısı nektarlarına göre daha düşük olduğu gözlenmiştir. Balık yağı emülsiyonu eklenmesi ile kayısı nektarındaki β -karoten biyogeçişliliğinin tüm sürfaktan tiplerinde yaklaşık %22 oranında arttığı tespit edilmiştir. Bu durumda küçük ($d < 500$ nm), sindirilebilir lipit partikülleri varlığının kayısı nektarındaki β -karoten biyoyararlanımını arttırabildiği sonucuna varılmıştır. α -tokoferol ve Trolox eklenmesinin farklı sürfaktanlar ile hazırlanan balık yağı emülsiyonu eklenmiş kayısı nektarlarının β -karoten biyoerişilebilirliği üzerine farklı sonuçları olmuştur. Bu sebeple sürfaktan-antioksidan etkileşimleri üzerine daha çok araştırmaya gerek duyulmaktadır. Kayısı nektarlarının lipofilik özellikli β -karoten içermesi sebebiyle uygun antioksidan ve srfaktanlarla yararlanım oranının artırılmasının mümkün olduğu bu çalışmayla gösterilmiştir. Kayısı nektarına emülsiyon ilavesinin β -karotenden daha fazla yararlanabilmek adına olumlu sonuç vermiştir. Balık yağı gibi faydalı yağlardan yararlanmak adına kayısı nektarına Omega-3 yağ asitlerince zengin balık yağı emülsiyonu ilavesinin iyi fikir olup olmadığının belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışma hipotezimizi destekler nitelikte olup ek olarak *in vivo* hücre kültürü ortamında çalışılarak daha verimli sonuçlar elde edilmesi de mümkündür.

Duyusal analiz sonuçlarına göre emülsiyon eklenmeyen sade kayısı nektarı referans kabul edildiğinde kıvam (ağız ve kaşık), renk ve görünüş özellikleri ile karşılaştırıldığında kabul edilebilirliğinin yüksek olduğu görülmüştür. Bununla birlikte tat, koku, lezzet ve aroma düşük konsantrasyonlu örneklerde daha kabul edilebilirken yüksek konsantrasyonlu ürünlerde beğenilmemiştir. En fazla oranda emülsiyon içeren kayısı nektarında bile orta seviyede bir genel beğeni söz konusu olması, iyi stabilize edilerek lezzet ve aroma özellikleri geliştirilen Omega-3 yağ asitlerince zenginleştirilmiş kayısı nektarlarının fonksiyonel bir ürün olarak kabul görebileceğini göstermektedir. Bu amaçla emülsiyonlar antioksidanlarca zenginleştirilip kayısı nektarına ilave edilebilir veya esansiyel yağlar ilave edilebilir.

Genel olarak Omega-3 yağ asitlerince zenginleştirilmiş bir kayısı nektarında hem Omega-3 yağlarının kayısı nektarına eklenmesi ile oksidatif dayanımının arttırılabileceği hem de kayısı nektarının besinsel niteliklerinin lipit damlacıkları varlığında arttırılabileceği tespit edilmiştir. Fonsiyonel bir ürün olarak üretilebilecek olan bu kayısı nektarları ek çalışmalar ile desteklenerek tüketici beğenisine sunulabilir özelliktedir.

6. KAYNAKÇA

- Abacı, Z. T. (2007). Kayısı Meyvesinde Erken ve Geç Olgunlaşma Üzerine Etki Eden Biyokimyasal Faktörlerin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*.
- Acosta, E. (2009). Bioavailability of nanoparticles in nutrient and nutraceutical delivery. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 14(1), 3–15. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2008.01.002>
- Akoh, C. C., & Min, D. B. (2017). *Food Lipids: Chemistry, Nutrition, and Biotechnology*. <https://doi.org/10.1201/9780203908815>
- Ali, S., Masud, T., & Sarfraz, K. (2011). Scientia Horticulturae Physico-chemical characteristics of apricot (*Prunus armeniaca L.*) grown in Northern Areas of Pakistan. *Scientia Horticulturae*, 130(2), 386–392. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.05.040>
- Alpaslan, M., & Hayta, M. (2006). Apricot kernel: Physical and chemical properties. *JAACS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 83(5), 469–471. <https://doi.org/10.1007/s11746-006-1228-5>
- Anton, N., Gayet, P., Benoit, J. P., & Saulnier, P. (2007). Nano-emulsions and nanocapsules by the PIT method: An investigation on the role of the temperature cycling on the emulsion phase inversion. *International Journal of Pharmaceutics*, 344(1–2), 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2007.04.027>
- Anton, N., & Vandamme, T. F. (2009). The universality of low-energy nano-emulsification. *International Journal of Pharmaceutics*, 377(1–2), 142–147. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2009.05.014>
- Arab-Tehrany, E., Jacquot, M., Gaiani, C., Imran, M., Desobry, S., & Linder, M. (2012). Beneficial effects and oxidative stability of omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids. *Trends in Food Science and Technology*, 25(1), 24–33. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.12.002>
- Asma, B. M., Kan, T., & Birhanlı, O. (2007). Characterization of promising apricot (*Prunus armeniaca L.*) genetic resources in Malatya, Turkey. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 54(1), 205–212. <https://doi.org/10.1007/s10722-005-3809-9>
- Ayşe Yılmaz. (2019). Keten Tohumu Yağının Oksidatif Stabilitesinin Mikroemülsiyeli Polar Antioksidanlarla Arttırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, 6(1), 5–10. <https://doi.org/10.1109/MTAS.2004.1371634>
- Bai, L., Liu, F., Xu, X., Huan, S., Gu, J., & Julian, D. (2017). Impact of polysaccharide molecular characteristics on viscosity enhancement and depletion flocculation. *Journal of Food Engineering*, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.03.021>
- Becker, E. M., Nissen, L. R., & Skibsted, L. H. (2004). Antioxidant evaluation protocols: Food quality or health effects. *European Food Research and Technology*, 219(6), 561–571. <https://doi.org/10.1007/s00217-004-1012-4>
- Betul, E., Karabulut, I., & Topcu, A. (2008). *Food Chemistry Some compositional properties of main Malatya apricot (Prunus armeniaca L.) varieties*. 107, 939–948. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.08.052>
- Boon, C. S., Xu, Z., Yue, X., McClements, D. J., Weiss, J., & Decker, E. A. (2008). Factors affecting lycopene oxidation in oil-in-water emulsions. *Journal of*

- Agricultural and Food Chemistry*, 56(4), 1408–1414.
<https://doi.org/10.1021/jf072929+>
- Çelebi, Ş., KAYA, H., & Kaya, A. (2017). Omega-3 Yağ Asitlerinin İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri. *Alinteri Ziraat Bilimler Dergisi*, 32(2), 105–112.
<https://doi.org/10.28955/alinterizbd.319437>
- Cengiz, E. (2011). Kayısı (Prunus Armeniaca L.) ve Kayısı Çekirdeğinde Kuersetinin Hplc-Ms İle Tayini. *Yüksek Lisans Tez*.
https://doi.org/10.1007/springerreference_69223
- Chang, Y., & McClements, D. J. (2016). Influence of emulsifier type on the in vitro digestion of fish oil-in-water emulsions in the presence of an anionic marine polysaccharide (fucoidan): Caseinate, whey protein, lecithin, or Tween 80. *Food Hydrocolloids*, 61, 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.04.047>
- Charoen, R., Jangchud, A., Jangchud, K., Harnsilawat, T., Naivikul, O., & McClements, D. J. (2011). Influence of Biopolymer Emulsifier Type on Formation and Stability of Rice Bran Oil-in-Water Emulsions: Whey Protein, Gum Arabic, and Modified Starch. *Journal of Food Science*, 76(1), 165–172. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01959.x>
- Coupland, J. N., & McClements, D. J. (1996). *Food Emulsions*. 71(March), 944–948.
- David Julian McClements. (2005). Food Emulsions Principles, Practices, and Techniques. In *Journal of Chemical Information and Modeling*.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Deckelbaum, R. J., & Torrejon, C. (2012). The Omega-3 Fatty Acid Nutritional Landscape: Health Benefits and Sources1–3. *The Journal of Nutrition*, 4, 587–591.
<https://doi.org/10.3945/jn.111.148080.587S>
- Deckelbaum, R. A. R. and R. J. (2007). Sources of the very-long-chain unsaturated omega-3 fatty acids: Eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 10(2), 123–128. Retrieved from <http://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&from=export&id=L46220302%5Cnhttp://dx.doi.org/10.1097/MCO.0b013e3280129652%5Cnhttp://hz9pj6fe4t.search.serialssolutions.com?sid=EMBASE&issn=13631950&id=doi:10.1097%2FMCO.0b013e3280129652&atitle=Sou>
- Decker, Shantha, E. A. (1994). *Rapid, Sensitive, Iron-Based Spectrophotometric Methods for Determination of Peroxide Values of Food Lipids*. (2), 1992–1995.
- Din, J. N., Harding, S. A., Valerio, C. J., Sarma, J., Lyall, K., Riemersma, R. A., ... Flapan, A. D. (2008). *Dietary intervention with oil rich fish reduces platelet-monocyte aggregation in man*. 197, 290–296.
<https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2007.04.047>
- Durmaz, G. (2002). *Kayısı Meyvesinin ve Kavrulmuş Kayısı çekirdeğinin Antioksidan Özellikleri*.
- Failla, M. L., Huo, T., & Thakkar, S. K. (2008). *In vitro screening of relative bioaccessibility of carotenoids from foods*. 17(December 2007), 200–203.
- FAO. (2020). *Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü*.
- Frankel, E. (2012). A. Mechanism of antioxidants 1. *Lipid Oxidation*, (2), 209–258.
<https://doi.org/10.1533/9780857097927.209>

- Frankel, E N, Oleate, A., & Linoleate, B. (1982). Volatile Lipid Oxidation Products A. Alkyl Hydroperoxides B. Allyl Hydroperoxides C. Fatty Ester Hydroperoxides III. Volatile Products From Oxidized Lipids Hydroperoxy Epoxy, Cyclic Peroxides And Other Oxygenated Compounds. *Pro-t. Lipid Res*, 22, 1–33.
- Frankel, E N, & Regional, N. (1908). *Lipid Oxidation : Mechanisms , Products and Biological Significance*. 1908–1917.
- Frankel, Edwin N. (2012). Food antioxidants. *Antioxidants in Food and Biology*, 105–142. <https://doi.org/10.1533/9780857097903.105>
- Frankel, Edwin N., Satué-Gracia, T., Meyer, A. S., & German, J. B. (2002). Oxidative stability of fish and algae oils containing long-chain polyunsaturated fatty acids in bulk and in oil-in-water emulsions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(7), 2094–2099. <https://doi.org/10.1021/jf0111458>
- Frankel, Edwin N. (1991). *Recent Advances in Lipid Oxidation*. (April 1990), 495–511.
- Gomes, A., Furtado, G. D. F., & Cunha, R. L. (2019). Bioaccessibility of Lipophilic Compounds Vehiculated in Emulsions: Choice of Lipids and Emulsifiers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(1), 13–18. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b05460>
- Granado-Lorencio, F., Olmedilla-Alonso, B., Herrero-Barbudo, C., Blanco-Navarro, I., Pérez-Sacristán, B., & Blázquez-García, S. (2007). In vitro bioaccessibility of carotenoids and tocopherols from fruits and vegetables. *Food Chemistry*, 102(3), 641–648. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.05.043>
- Gropper s. Sareen, Smith. L Jack, G. L. J. (2005). Dietary Reference Intakes (DRI). In *Advanced Nutrition and Human Metabolism*.
- Gülçin, I. (2012). Antioxidant activity of food constituents: An overview. *Archives of Toxicology*, 86(3), 345–391. <https://doi.org/10.1007/s00204-011-0774-2>
- Güngör, Ö., Zungur, A., Koç, M., & Kaymak-Ertekin, F. (2013). *Emülsiyonların Özellikleri ve Emülsifikasyon Koşullarının Aroma ve Yağların Mikroenkapsülasyonu Üzerine Etkisi*. 11(2), 116–124.
- Gupta, A., Eral, H. B., Hatton, T. A., & Doyle, P. S. (2016). Nanoemulsions: Formation, properties and applications. *Soft Matter*, 12(11), 2826–2841. <https://doi.org/10.1039/c5sm02958a>
- Haahr, A., & Jacobsen, C. (2008). *Emulsifier type , metal chelation and pH affect oxidative stability of n -3-enriched emulsions*. 949–961. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200800035>
- Helland, I. B., Smith, L., Saarem, K., Saugstad, O. D., & Drevon, C. A. (2003). Maternal supplementation with very-long-chain n-3 fatty acids during pregnancy and lactation augments children’s IQ at 4 years of age. *Pediatrics*, 111(1). <https://doi.org/10.1542/peds.111.1.e39>
- Hodges, D. M., DeLong, J. M., Forney, C. F., & Prange, R. K. (1999). *Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds*. 1, 604–611.
- Hof, K. H. Van, Tijburg, L. B. M., Pietrzik, K., & Weststrate, J. A. (2017). *Influence of feeding different vegetables on plasma levels of carotenoids , folate and vitamin C . Effect of disruption of the vegetable matrix*. (1999), 203–212.
- Hof, K. H. Van, West, C. E., Weststrate, J. A., & Hautvast, J. G. A. J. (2018). *Recent*

Advances in Nutritional Sciences Dietary Factors That Affect the Bioavailability of Carotenoids 1. (March), 503–506.

- Holst, B., & Williamson, G. (2008). *Nutrients and phytochemicals : from bioavailability to bioefficacy beyond antioxidants.* <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2008.03.003>
- İzci, Y. (2019). Kayısı Nektarının Nanoemülsiyeye A-Tokoferol ile Zenginleştirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, 6(1), 5–10. <https://doi.org/10.1109/MTAS.2004.1371634>
- Izquierdo, P., Esquena, J., Tadros, T. F., Dederen, C., Garcia, M. J., Azemar, N., & Solans, C. (2002). Formation and stability of nano-emulsions prepared using the phase inversion temperature method. *Langmuir*, 18(1), 26–30. <https://doi.org/10.1021/la010808c>
- Jacobsen, C., Hartvigsen, K., Lund, P., Meyer, A. S., & Jens, J. A. (1999). *Oxidation in fish-oil-enriched mayonnaise.* 13–30.
- Jacobsen, C., & Nielsen, N. S. (2006). Optimization of oxidative stability of omega-3. In *Long-chain omega-3 specialty oils.* <https://doi.org/10.1533/9780857097897.197>
- Kabir, Y., & Sidhu, J. S. (2012). Flavor of Fruits and Fruit Products and their Sensory Qualities. *Handbook of Fruits and Fruit Processing: Second Edition*, 35–50. <https://doi.org/10.1002/9781118352533.ch3>
- Kahlon, T. S., & Smith, G. E. (2007). *Food Chemistry In vitro binding of bile acids by bananas , peaches , pineapple , grapes , pears , apricots and nectarines q.* 101, 1046–1051. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.02.059>
- Kasnak, C., & Palamutoğlu, R. (2015). Doğal Antioksidanların Sınıflandırılması ve İnsan Sağlığına Etkileri. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 3(5), 226. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v3i5.226-234.171>
- Kayisi, U. (2014). *Ulusal kayisi çalıştayı 18 – 19.*
- Kennedy, E. T., Luo, H., & Ausman, L. M. (2012). *Cost Implications of Alternative Sources of (n-3) Fatty Acid Consumption in the United States 1 – 3.* (4), 605–609. <https://doi.org/10.3945/jn.111.152736.TABLE>
- Kıralan, S. S., Dog, E., Kittipongpittaya, K., McClements, D. J., & Decker, E. A. (2014). *Increased Antioxidant Efficacy of Tocopherols by Surfactant Solubilization in Oil-in-Water Emulsions.* 3–8.
- Küçük Kurt, İ., & Fidan, A. F. (2008). *Saponinler ve Bazı Biyolojik Etkileri.* 89–96.
- Ladikos, D., & Lougovois, V. (1990). Lipid oxidation in muscle foods: A review. *Food Chemistry*, 35(4), 295–314. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(90\)90019-Z](https://doi.org/10.1016/0308-8146(90)90019-Z)
- Landrum, J. T., Bonet, R. A., & Kilburn, M. D. (1996). The Macular Pigment: A Possible Role in Protection from Age-Related Macular Degeneration. *Advances in Pharmacology*, 38(C), 537–556. [https://doi.org/10.1016/S1054-3589\(08\)60998-9](https://doi.org/10.1016/S1054-3589(08)60998-9)
- Li, Y., & McClements, D. J. (2010). New mathematical model for interpreting pH-stat digestion profiles: Impact of lipid droplet characteristics on in vitro digestibility. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(13), 8085–8092. <https://doi.org/10.1021/jf101325m>
- Maki, K. C., Yurko-Mauro, K., Dicklin, M. R., Schild, A. L., & Geohas, J. G. (2014). A new, microalgal DHA- and EPA-containing oil lowers triacylglycerols in adults with mild-to-moderate hypertriglyceridemia. *Prostaglandins, Leukotrienes, and Essential*

- Fatty Acids*, 91(4), 141–148. <https://doi.org/10.1016/j.plefa.2014.07.012>
- McClements, D. J., & Decker, E. A. (2000). Lipid oxidation in oil-in-water emulsions: Impact of molecular environment on chemical reactions in heterogeneous food systems. *Journal of Food Science*, 65(8), 1270–1282. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb10596.x>
- McClements, D. J., Decker, E. A., & Weiss, J. (2007). Emulsion-based delivery systems for lipophilic bioactive components. *Journal of Food Science*, 72(8), 109–124. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00507.x>
- McClements, David Julian. (2013). Edible lipid nanoparticles: Digestion, absorption, and potential toxicity. *Progress in Lipid Research*, 52(4), 409–423. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2013.04.008>
- McClements, David Julian. (2018). Enhanced delivery of lipophilic bioactives using emulsions: A review of major factors affecting vitamin, nutraceutical, and lipid bioaccessibility. *Food and Function*, 9(1), 22–41. <https://doi.org/10.1039/c7fo01515a>
- McClements, David Julian, & Gumus, C. E. (2016). Natural emulsifiers — Biosurfactants, phospholipids, biopolymers, and colloidal particles: Molecular and physicochemical basis of functional performance. *Advances in Colloid and Interface Science*, 234, 3–26. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2016.03.002>
- McClements, David Julian, & Li, Y. (2010). Review of in vitro digestion models for rapid screening of emulsion-based systems. *Food and Function*, 1(1), 32–59. <https://doi.org/10.1039/c0fo00111b>
- McClements, David Julian, & Rao, J. (2011). Food-Grade nanoemulsions: Formulation, fabrication, properties, performance, Biological fate, and Potential Toxicity. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(4), 285–330. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.559558>
- Muhammad Siddiq, Masood Sadiq Butt, and I. G., & Introduction. (2012). Apricots Production, Processing, and Nutrition. *Ferrets, Rabbits, and Rodents: Clinical Medicine and Surgery*, 183–192. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4160-6621-7.00014-2>
- Mutsokoti, L., Panozzo, A., Pallares Pallares, A., Jaiswal, S., Van Loey, A., Grauwet, T., & Hendrickx, M. (2017). Carotenoid bioaccessibility and the relation to lipid digestion: A kinetic study. *Food Chemistry*, 232, 124–134. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.001>
- N. Frankel, E. (2012). *Free radical oxidation*. (2), 15–24. <https://doi.org/10.1533/9780857097927.15>
- Nielsen, N. S., Debnath, D., & Jacobsen, C. (2006). Oxidative stability of fish oil enriched drinking yoghurt. *International Dairy Journal*, 17(12), 1478–1485. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2007.04.011>
- Ò, Q. Q., Yang, Y., Leser, M. E., Sher, A. A., & Julian, D. (2013). Food Hydrocolloids Formation and stability of emulsions using a natural small molecule surfactant : *Food Hydrocolloids*, 30(2), 589–596. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.08.008>
- Ozturk, B., Argin, S., Ozilgen, M., & McClements, D. J. (2014). Formation and stabilization of nanoemulsion-based vitamin e delivery systems using natural surfactants: Quillaja saponin and lecithin. *Journal of Food Engineering*, 142, 57–63. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.06.015>

- Palafox-carlos, H., Ayala-zavala, F., & Gonz, G. A. (2011). *The Role of Dietary Fiber in the Bioaccessibility and Bioavailability of Fruit and Vegetable Antioxidants*. 76(1), 6–15. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01957.x>
- Palamakula, A., & Khan, M. A. (2004). Evaluation of cytotoxicity of oils used in coenzyme Q10 Self-Emulsifying Drug Delivery Systems (SEDDS). *International Journal of Pharmaceutics*, 273(1–2), 63–73. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2003.12.010>
- Patch, C. S., & Brown, I. L. (2008). Long-chain omega-3 PUFAs and their role in healthy ageing. *Chemistry in Australia*, 75(10), 14–16. Retrieved from <http://ro.uow.edu.au/hbspapers/2961>
- Patela, S., & Goyalb, A. (2014). *Applications of Natural Polymer Gum Arabic: a Review*. (November), 37–41. <https://doi.org/10.1080/10942912.2013.809541>
- Pe´rez-Ga´lvez, Antonio, M. I. M.-M. (2005). *Esterification of xanthophylls and its effect on chemical behavior and bioavailability of carotenoids in the human*. 25, 631–640. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2005.07.002>
- Piorkowski, D. T., & McClements, D. J. (2014). Food Hydrocolloids Beverage emulsions : Recent developments in formulation , production , and applications. *Food Hydrocolloids*, 42, 5–41. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.07.009>
- Pottel, L., Lycke, M., Boterberg, T., Foubert, I., Pottel, H., Duprez, F., ... Debruyne, P. R. (2014). Omega-3 fatty acids: Physiology, biological sources and potential applications in supportive cancer care. *Phytochemistry Reviews*, 13(1), 223–244. <https://doi.org/10.1007/s11101-013-9309-1>
- R. Guillén-Sans, M. G.-C. (2010). *Critical Reviews in Food Science and Nutrition The Thiobarbituric Acid (TBA) Reaction in Foods : A Review The Thiobarbituric Acid (TBA) Reaction in Foods : A Review*. (June 2012), 37–41.
- Raj, V., Jian, A., & Chaudhary, J. (2012). Prunus Armeniaca (Apricot): An Overview. *Journal of Pharmacy Research*, 5(8), 3964–3966.
- Ramadan, M. F. (2004). *Oxidative stability of black cumin (Nigella sativa L .), coriander (Coriandrum sativum L .) and niger (Guizotia abyssinica Cass .) crude seed oils upon*. 106, 35–43. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200300895>
- Ramadan, M. F., & Moersel, J. T. (2006). Screening of the antiradical action of vegetable oils. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(8), 838–842. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.02.013>
- Ramasarma, T. (2014). *Methods for estimating lipid peroxidation : An analysis of merits and demerits Minireview Methods for estimating lipid peroxidation : An analysis of merits and demerits*. (October 2003).
- Rao, A. V. (2004). Processed Tomato Products as a Source of Dietary Lycopene: Bioavailability and Antioxidant Properties A. *Canadian Journal of Dietetic Practice and Research*, (Ldl), 161–165.
- Ribeiro, H. S., Ax, K., & Schubert, H. (2003). *Stability of Lycopene Emulsions in Food Systems*. 68(9).
- Ruiz, D., Egea, J., Gil, M. I., & Tomás-Barberán, F. A. (2005). Characterization and quantitation of phenolic compounds in new apricot (Prunus armeniaca L.) varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(24), 9544–9552.


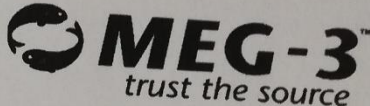
<https://doi.org/10.1021/jf051539p>

- Ruxton, C. H. S., Reed, S. C., Simpson, M. J. A., & Millington, K. J. (2004). The health benefits of omega-3 polyunsaturated fatty acids: A review of the evidence. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 17(5), 449–459. <https://doi.org/10.1111/j.1365-277X.2004.00552.x>
- Salvia-Trujillo, L., & McClements, D. J. (2016). Enhancement of lycopene bioaccessibility from tomato juice using excipient emulsions: Influence of lipid droplet size. *Food Chemistry*, 210, 295–304. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.125>
- Salvia-Trujillo, L., Qian, C., Martín-Belloso, O., & McClements, D. J. (2013). Influence of particle size on lipid digestion and β -carotene bioaccessibility in emulsions and nanoemulsions. *Food Chemistry*, Vol. 141, pp. 1472–1480. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.03.050>
- Shahidi, F., & Zhong, Y. (2011). *Revisiting the Polar Paradox Theory : A Critical Overview*. 3499–3504.
- Şişlioğlu, K. (2019). Organojel Yapısında Lipit Taşıyıcı Partikül Sistemlerin Üretimi ve Fonksiyonel Özelliklerinin Araştırılması. *Doktora Tezi*, 6(1), 5–10. <https://doi.org/10.1109/MTAS.2004.1371634>
- Suja, K. P., Jayalekshmy, A., & Arumughan, C. (2005). *Food Chemistry Antioxidant activity of sesame cake extract*. 91, 213–219. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.09.001>
- Tarım, G., Hayvancılık, V. E., Ekonom, T., Pol, V. E., Gel, K. A., & Enst, R. M. E. (2017). *Kayısı Sektör Araştırması*.
- Topcu, Y. (2010). *Taze Kayısının Dünya ve Türkiye 'deki Mevcut Durumu The Present Situation of Fresh Apricot in the World and Turkey*. 3(1), 43–53.
- Tur, J. A., Bibiloni, M. M., Sureda, A., & Pons, A. (2012). Dietary sources of omega 3 fatty acids: Public health risks and benefits. *British Journal of Nutrition*, 107(SUPPL. 2). <https://doi.org/10.1017/S0007114512001456>
- Uluata, S. (2010). Bazı Bitkisel Yağların Karakterizasyonu. *Doktora Tezi*.
- Uluata, S., McClements, D. J., & Decker, E. A. (2015a). How the multiple antioxidant properties of ascorbic acid affect lipid oxidation in oil-in-water emulsions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(6), 1819–1824. <https://doi.org/10.1021/jf5053942>
- Uluata, S., McClements, D. J., & Decker, E. A. (2015b). Physical Stability, Autoxidation, and Photosensitized Oxidation of ω -3 Oils in Nanoemulsions Prepared with Natural and Synthetic Surfactants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(42), 9333–9340. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b03572>
- Valley, S. A. N. J., Day, K. R., Andris, H. L., Coates, W. B., Ferriera, W. C., Southwick, S. M., ... Moura, R. L. De. (2003). *Sample Costs To Establish Apricots*. 1–20.
- Verrijssen, T. A. J., Verkempinck, S. H. E., Christiaens, S., Van Loey, A. M., & Hendrickx, M. E. (2015a). The effect of pectin on invitro β -carotene bioaccessibility and lipid digestion in low fat emulsions. *Food Hydrocolloids*, Vol. 49, pp. 73–81. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.02.040>
- Verrijssen, T. A. J., Verkempinck, S. H. E., Christiaens, S., Van Loey, A. M., & Hendrickx, M. E. (2015b). The effect of pectin on invitro β -carotene bioaccessibility

- and lipid digestion in low fat emulsions. *Food Hydrocolloids*, 49, 73–81.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.02.040>
- Versantvoort, C. H. M., Oomen, A. G., Kamp, E. Van De, Rompelberg, C. J. M., & Sips, J. A. M. (2005). *Applicability of an in vitro digestion model in assessing the bioaccessibility of mycotoxins from food*. 43, 31–40.
<https://doi.org/10.1016/j.fct.2004.08.007>
- Von Beust, B. R., & Travlos, G. S. (2017). Complement. In *The Clinical Chemistry of Laboratory Animals, Third Edition*. <https://doi.org/10.1201/9781315155807>
- Walker. (2015). Fish Oil Nanoemulsions: Optimization of Physical and Chemical Stability for Food System Applications. *Thesis*, 1–128. Retrieved from
<https://www.semanticscholar.org/paper/Fish-Oil-Nanoemulsions%3A-Optimization-of-Physical-Walker/315fab60feaf5ed6eaf58fbe186363c5b608ed10>
- Walker, R., Decker, E. A., & McClements, D. J. (2015). Development of food-grade nanoemulsions and emulsions for delivery of omega-3 fatty acids: Opportunities and obstacles in the food industry. *Food and Function*, 6(1), 42–55.
<https://doi.org/10.1039/c4fo00723a>
- Walker, R. M., Decker, E. A., & McClements, D. J. (2015). Physical and oxidative stability of fish oil nanoemulsions produced by spontaneous emulsification: Effect of surfactant concentration and particle size. *Journal of Food Engineering*, 164, 10–20.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.04.028>
- Waraho, T., McClements, D. J., & Decker, E. A. (2011). Mechanisms of lipid oxidation in food dispersions. *Trends in Food Science and Technology*, 22(1), 3–13.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.11.003>
- Wettasinghe, M., & Shahidi, F. (1999). *Antioxidant and free radical-scavenging properties of ethanolic extracts of defatted borage (Borago o □ cinalis L .) seeds*. 67, 399–414.
- Wu, Q., Uluata, S., Cui, L., Wang, C., Li, D., McClements, J., & Decker, E. A. (2016). Physical and oxidation stability of self-emulsifying krill oil-in-water emulsions. *Food and Function*, 7(8), 3590–3598. <https://doi.org/10.1039/c6fo00045b>
- Yeşiltaş, B. (2013). Antioxidative Effects Of Fucus Vesiculosus Extracts In Fish Oil Enriched Mayonnaise. *Faktor-Faktor Yang Berhubungan Dengan Minat Ibu Terhadap Penggunaan Alat Kontrasepsi Implant Di Puskesmas Ome Kota Tidore Kepulauan*, 84(July), 487–492. Retrieved from
<http://ir.obihiro.ac.jp/dspace/handle/10322/3933>
- Yi, O., Han, D., & Shin, H. (1991). *Synergistic Antioxidative Effects of Tocopherol and Ascorbic Acid in Fish Oil/Lecithin/Water System*. 881–883.
- Zhang, R., Zhang, Z., Zhang, H., Decker, E. A., & McClements, D. J. (2015). Influence of lipid type on gastrointestinal fate of oil-in-water emulsions: In vitro digestion study. *Food Research International*, 75, 71–78.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.05.014>

7. EKLER

EK 1. Omega-3 Yağ Asidi İçeren Balık Yağı Sağlayıcı Firmadan Temin Edilen Ürün Bilgisi

Bulk Oil
Certificate of Analysis

Product Description: MEG-3™ 1812 TG 3a Food Oil
DSM Lot#: TS00012472
Product/Document Code: DNPAM-OPS-SPEC-008839.16
Manufacturer Location: Mulgrave **DSM Product Number:** 5015161

ANALYSIS	SPECIFICATIONS	RESULTS
Appearance	Clear yellow oil	Pass
Colour	Max. 6 Gardner Colour	5
Free Fatty Acid (as % Oleic)	Max. 0.5%	0.1
Acid Value	Max. 1.0 mg of KOH/g	0.3
p-Anisidine Value	Max. 15 (at time of release)	4
Peroxide Value	Max. 3 meq/kg (at time of release)	0
%Moisture	Max. 0.1%	0.0
Totox Number	Max. 23 (duration of shelf-life)	4
Fatty Acid Profile		
EPA (A%)	Min. 17	19
DHA (A%)	Min. 11	12
EPA mg/g (as TG)	Min. 160	170
EPA mg/g (as FFA)	Min. 150	160
DHA mg/g (as TG)	Min. 100	110
DHA mg/g (as FFA)	Min. 100	110
Antioxidants		
"IP" Mixed Natural Tocopherol	Min. 3 mg/g (based on oil input)	Pass
Contaminant Data*		
Dioxins & Furans (PCDDs and PCDFs)	Max. 1.0 pg WHO-PCDD/FTEQ/g	Compliant
Dioxin-Like PCBs**	Max. 2 pg WHO-Dioxin Like PCBs-TEQ/g	Compliant
Sum Dioxins & Furans + Dioxin Like PCBs	Max. 3.0 pg WHO-PCDD/F + Dioxin Like PCBs-TEQ/g	Compliant
PAHs: Benzo(a)pyrene	Max. 1 ppb	Compliant
PAH 4***	Max. 10 ppb	Compliant
Total PCBs*** (209 congeners)	Max. 0.02 ppm	Compliant
Arsenic	<0.1 ppm	Compliant
Lead	<0.05 ppm	Compliant
Cadmium	<0.01 ppm	Compliant
Mercury	<0.005 ppm	Compliant
Strontium (Canada only)	Max. 0.5 ppm	Compliant

*Results for contaminants may be expressed as either compliant/non compliant (based on Master Batch Testing) or as actual results
**Sum of IUPAC No. 81, 77, 126, 169, 105, 114, 118, 123, 156, 157, 167 and 189
***PAH 4: Sum of Benzo(a)pyrene, Benzo(a)anthracene, Benzo(b)fluoranthene and Chrysene
****Total PCBs (209 congeners): Sum of IUPAC No. 1 - 209

DSM Nutritional Products (DNP) complies with the GOED Voluntary Monograph with respect to the purity of its products. The product described in this document will be delivered with PCB levels as specified and may be made into consumer products with recommended dosages resulting in consumption of up to 4.4 grams of fish oil per day without triggering PCB-related warning obligations. If offered for sale in California, consumer products made with the product described in this document having recommended daily dosages containing higher amounts of fish oil per day or which are combined with products containing higher levels of PCBs may be subject to claims under that state's Safe Drinking Water and Toxic Enforcement Act of 1986 ("Proposition 65") unless the consumer product manufacturer labels such products with clear and reasonable Proposition 65 warnings.

Acrowell

Quality Control Manager (or delegate)

05/24/2019

Date

101 Research Drive, Dartmouth, N.S., Canada, B2Y 4T6
Telephone (902) 480-3200 FAX (902) 480-3199

MEG-3 1812 TG 3a Food Oil



Certificate for Customer

Productcode : 5015161
Lot No. : TS00012472
Analysis No. : 81014914

CfC Number : 03826399
Articlecode : 5015161S02
Sales Name :
Manufacturing Date : 01-MAY-2019
Best Use Before Date : 30-APR-2020
Delivery Note No. 4022163966
Destination : Turkey
Customer Ref. No : 4500676161
Customer Article No: 5015161S02
Customer Name: DSM BESIN MADDELERI
LIMITED SIRKETI
ATT.MELDA SEZER / +90 216
538 66 66
Comment Quantity Shipped: 0.200KG

Thank you for your order and continued business.
DSM Nutritional Products is committed to delivering superior quality products and excellent services for our valued customers.
If you have any questions, please contact our Account Service Center at 1-800-526-0189
Our webshop provides 24/7 access to the products and services of DSM Nutritional Products. Visit our website at:
<http://unlimitednutrition-na.dsm.com>

8. ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Zeynep Merve ABACI
Doğum Tarihi ve Yeri : 02/08/1992, DOĞANŞEHİR
E-posta : zmabaci@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

Staj Deneyimi:

- İnönü Üniversitesi, Gıda Analizleri Laboratuvarı, 2012 – 2015
- Coca – Cola İçecek A.Ş. , 04.08.2014 – 14.09.2014
- Kaçmazlar Gıda Ltd. A.Ş. , 01.07.2014 – 01.08.2014

Bilimsel aktiviteler:

- Z. Merve ABACI, Z. Tuğba ABACI, İnönü Üniversitesi Öğrencilerinde Genetiği Değiştirilmiş Organizma Bilinci ve Bilgi Düzeyi, 2. Ulusal Tarım Öğrenci Kongresi / Erciyes Üniversitesi / KAYSERİ,2012
- Z. Merve ABACI, Hilal KANMAZ, Rabia DİNÇ, Gökhan DURMAZ, Fındık Kavurma Sürelerinin Tokoferol İçeriği ve Antioksidan Kapasitesine Etkileri, Gıda Mühendisliği 4. Öğrenci Kongresi / Sakarya Üniversitesi / SAKARYA, 2013
- Z. Merve Abacı, Hilal Kanmaz, Rabia Dinç, Ezgi Durmuş, Alternatif bir ürün; Trabzon hurması pestili, Gıda Mühendisliği 5. Öğrenci Kongresi/ Abant İzzet Baysal Üniversitesi /BOLU,2014
- Z. Merve ABACI, Pulsed electric field (vurgulu elektrik alan), Gıda Mühendisliği 5. Öğrenci Kongresi/ Abant İzzet Baysal Üniversitesi /BOLU,2014
- Z. Merve ABACI, Gıda Endüstrisinde Kullanılan Yenilebilir Kaplamalar, Gıda Mühendisliği 5. Öğrenci Kongresi/ Abant İzzet Baysal Üniversitesi /BOLU,2014
- Z. Merve ABACI, Geçmişten günümüzde Malatya yöresinde yapılan pestil çeşitleri,
Gıda Mühendisliği 5. Öğrenci Kongresi/ Abant İzzet Baysal Üniversitesi /BOLU,2014
- Z. Merve ABACI, Sade, Domates-Kekikli ve Domates-Haşhaşlı Peynirlerde Olgunlaşma Süresinin Bileşim Üzerine Etkisi , 2015 Gıda Mühendisliği Tasarım Dersi Poster Yarışması, İnönü Üniversitesi/MALATYA (ikincilik ödülü)