

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SU İÇİNDE YAĞ EMÜLSİYONLARINDA ZENCEFİL ENKAPSÜLASYONU



YÜKSEK LİSANS TEZİ
NAZAN YELMER BAYCAN

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Sibel ULUATA

OCAK, 2023

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SU İÇİNDE YAĞ EMÜLSİYONLARINDA ZENCEFİL ENKAPSÜLASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nazan YELMER BAYCAN

36183620004

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Sibel ULUATA

OCAK, 2023



BENİ BUGÜNLERE GETİREN CANIM AİLEME...

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana yol gösteren, desteğini esirgemeyen, engin tecrübelerinden yararlandığı danışmanım Sayın Doç. Dr. Sibel ULUATA`ya;

Çalışmam boyunca her türlü kolaylığı ve imkanı sağlayan İnönü Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine;

Laboratuvar çalışmalarım boyunca yardım eden, katkıda bulunan çalışma arkadaşım Zeynep Merve Abacı`ya;

Bu çalışmayı yapabilmem için İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi olarak FYL-2019-1833 numaralı projeye maddi destek veren Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna;

Bugünlere gelmemi sağlayan, maddi ve manevi desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen, beni yetiştiren ve hayata karşı cesaretlendiren, her zaman ve her koşulda kendim olmamı sağlayan, haklarını asla ödeyemeyeceğim çok kıymetli annem ve babam Nazire YELMER ve Hikmet YELMER`e; doğduğumuz günden beri her konuda yanımda olan, sürekli fikirlerinden yararlandığım, maddi ve manevi desteğini her zaman hissettiğim, diğer yarım, canım ikizim Canan YELMER`e; neşesiyle ve yardımlarıyla her zaman yanımda olan hem kardeşim hem arkadaşım olan Sinan YELMER`e; daima hayat dolu yanıyla hayatımızı güzelleştiren canım kız kardeşim Suzan YELMER`e ve bana çalışmamda birçok kez özveriyle yardım eden, ihtiyacım olduğunda hiç kırmadan içtenlikle üzerine düşenden fazlasını yapan evimizin küçüğü, canımdan çok sevdiğim biricik kardeşim Gökhan YELMER`e;

Bu süreçte benden yardım ve desteğini bir an esirgemeyen, sabır ve özveriyle yardım eden, daima yanımda olan sevgili eşim Cüneyt BAYCAN`a,

İçtenlikle teşekkür ederim.

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum " Su içinde yağ emülsiyonlarında zencefil enkapsülasyonu " başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Nazan YELMER BAYCAN



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	viii
GİRİŞ.....	1
KURAMSAL TEMELLER	4
2.1 Zencefil	4
2.1.1 Zencefilin yapısı ve tarihçesi.....	4
2.1.2 Zencefilin kimyasal yapısı	5
2.1.3 Zencefilin bileşenleri.....	6
2.1.4 Zencefilin emilimi	9
2.1.5 Zencefilin Sağlığa Etkileri	10
2.2 Keten Tohumu ve Yağı.....	20
2.2.1 Çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA).....	24
2.2.2 Keten tohumunun sağlığa etkileri	28
2.3 Enkapsülasyon	29
2.4 Nanoteknoloji ve Nanoemülsiyonlar	30
2.4.1 Gıda emülsiyonları	32
2.4.2 Nanoemülsiyonlar	34
3. KAYNAK ÖZETLERİ	42
4. MATERYAL VE METOD	47
4.1 Zencefil	47
4.2 Keten Tohumu Yağı.....	48
4.3 Yapılan Analizler	49
4.3.1 Kullanılan kimyasallar	49
4.3.2 Kullanılan cihazlar	49
4.3.3 Emülsiyon hazırlama.....	50
4.3.4 Fiziksel analizler	54
4.3.5 Oksidasyon analizleri	56
4.3.6 Uçucu bileşen tayini	58
4.3.7 İstatistiksel analizler.....	58
5. ARAŞTIRMA BULGULARI	59

5.1 Fiziksel Analizler	59
5.1.1 Partikül boyutu ve Partikül Yüğü.....	59
5.1.2 Termal stabilite.....	62
5.1.3 pH etkisi	64
5.1.4 İyonik konsantrasyon etkisi.....	67
5.1.5 Bulanıklılık (Türbidite)	70
5.2 Oksidatif Stabilite Testleri	71
5.3 Zencefil kokusunun maskelenmesi	78
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	81
KAYNAKÇA.....	84
ÖZGEÇMİŞ	91



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Zencefil bitkisi ve köksapları.....	5
Şekil 2.2: Zencefilin baskın bileşeni 6-gingerol	6
Şekil 2.3: Zencefil bileşenlerinden shogaol	6
Şekil 2.4: Zencefilin bileşenleri	8
Şekil 2.5: Gingerol bileşeninin ısı, kurutma ve pH değişimleri ile shogaollere dönüşmesi..	9
Şekil 2.6: Zencefilin sağlığa yararlı etkileri	10
Şekil 2.7: Keten bitkisi	21
Şekil 2.8: Keten tohumu hasat öncesi ve sonrası	21
Şekil 2.9: Omega 3 yağ asitleri	25
Şekil 2.10: Omega 6 yağ asitleri	25
Şekil 2.11: Enkapsülasyon işleminde iç ve dış fazın şematik gösterimi.....	29
Şekil 2.12: Emülsiyonların oluşum mekanizması.....	33
Şekil 2.13: Bir nanoemülsiyon partikülünün şematik gösterimi	34
Şekil 2.14: Nanoemülsiyon üretmek için kullanılabilecek çeşitli mekanik cihazların şematik gösterimi	36
Şekil 2.15: Nanoemülsiyonlar farklı fiziksel ve kimyasal etkilerle faz ayırma uğraması	37
Şekil 2.16: Yağların oto-oksidasyonunun kinetik eğrisi	39
Şekil 4.1: Zencefilin kurutulma aşamaları	47
Şekil 4.2: Keten tohumu yağının elde edilme aşamaları	48
Şekil 4.3: Emülsiyon yapım aşamaları.....	51
Şekil 4.4: Kaba emülsiyon (sol) ve sürfaktan tampon karışımı (sağ)	52
Şekil 4.5: Yüksek basınç homojenizatör	52
Şekil 4.6: Emülsiyon oluşturma basamakları iş akış diyagramı	53
Şekil 4.7: Mastersizer cihazı ile ölçüm alınırken	54
Şekil 4.8: Termal stabilite analizi yapılan örnekler	55
Şekil 4.9: pH etkisi analizi için hazırlanmış örnekler	55
Şekil 4.10: Tuz konsantrasyonu etkisi analizi için hazırlanmış örnekler	56
Şekil 4.11: Peroksit sayısı analizi yapmak üzere hazırlanmış örnekler	57
Şekil 5.1: Emülsiyonların partikül boyutu ($D_{3,2}$ - μm)	60
Şekil 5.2: Emülsiyonların zetasizer ile yapılan ζ - potansiyel değerleri (mV).....	61
Şekil 5.3: Emülsiyonların partikül yükünün sıcaklığa bağlı değişimi	63
Şekil 5.4: Emülsiyonların ortalama parçacık boyutunun ($D_{3,2}$) sıcaklığa bağlı değişimi ...	64
Şekil 5.5: Emülsiyonların partikül yükünün pH etkisine bağlı değişimi	66
Şekil 5.6: Emülsiyonların ortalama parçacık boyutunun ($D_{3,2}$) pH etkisine bağlı değişimi	67
Şekil 5.7: Emülsiyonların partikül yükünün tuz konsantrasyonuna bağlı değişimi.....	68
Şekil 5.8: Emülsiyonların ortalama parçacık çapının ($D_{3,2}$) tuz derişimine bağlı değişimi	69
Şekil 5.9: Emülsiyonların bulanıklık (türbidite) değerleri	71
Şekil 5.10: GA ile stabilize edilmiş emülsiyonların 37 °C`de depolama boyunca peroksit sayısı değerleri.....	72
Şekil 5.11: GA ile stabilize edilmiş emülsiyonların 37 °C`de depolama boyunca TBA sayısı değerleri.....	73
Şekil 5.12: WP ile stabilize edilmiş emülsiyonların 37 °C`de depolama boyunca peroksit sayısı değerleri.....	74

Şekil 5.13: WP ile stabilize edilmiş emülsiyonların 37 °C`de depolama boyunca TBA sayısı değerleri.....	75
Şekil 5.14: QS ile stabilize edilmiş emülsiyonların 37 °C`de depolama boyunca peroksit sayısı değerleri.....	76
Şekil 5.15: QS ile stabilize edilmiş emülsiyonların 37 °C`de depolama boyunca TBA sayısı değerleri.....	77
Şekil 5.16: Zencefil bileşenlerinin GC-MS`te alıkonma süreleri ve uçucu yağ kompozisyonu	79
Şekil 5.17: GA-O emülsiyonunun GC-MS `te verdiği yağ asidi kompozisyonu.....	80
Şekil 5.18: GA-E emülsiyonunun GC-MS `te verdiği yağ asidi kompozisyonu	80



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1: Zencefil ekstraktının uygulandığı 1929 fibroblast hücrelerindeki % canlılık değerleri	14
Çizelge 2.2: Omega-3 yağ asitlerinin kaynakları	24



SEMBOLLER VE KISALTMALAR

μm : Mikrometre

nm : Nanometre

mM : Milimolar

μM : Mikromolar

Ψ : Elektriksel Yüzey Potansiyeli

ζ : Partikül yükü

β : Beta

α : Alfa

a/a : Kütlesel derişim

Dk : Dakika

BaCl₂ : Baryum klorür

TCA : Trikloroasetik asit

TBA : Tiyobarbitürik asit

BHT : Bütülenmiş hidroksi tolüen

Y/S : Su içinde yağ

S/Y : Yağ içinde su

pH : Potential of Hydrogen; Hidrojen Gücü

GIS : Gastrointestinal Sistem

PV : Peroxide Value; Peroksit Sayısı

TBARS : Tiyobarbitürik Asit Reaktif Maddeler

LA : Linoleik asit

ALA : Alfa-linoleik asit

DHA : Dokosahekzaenoik Asit

EPA : Eikosapentaenoik Asit

MDA : Malonaldehit

T80 : Tween 80

SYA : Serbest Yağ Asidi

GA : Gam Arabik

WP : Whey Protein

QS : Quillaja Saponin

GAO : Gam Arabic Oil

GAE : Gam Arabic Emulsion

WPO : Whey Protein Oil

WPE : Whey Protein Emulsion

QSO : Quillaja Saponin Oil

QSE : Quillaja Saponin Emulsion

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SU İÇİNDE YAĞ EMÜLSİYONLARINDA ZENCEFİL ENKAPSÜLASYONU Nazan YELMER BAYCAN

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

91+xi sayfa

2023

Danışman: Doç. Dr. Sibel ULUATA

Bu çalışmada %5 keten tohumu yağı (100 mg/g yağ zencefil içeren ve içermeyen) ve % 95 su fazı (%1 Gam Arabik, Quillaja Saponin, Whey Protein içeren) kullanılarak yüksek basınçlı homojenizatör ile su içinde yağ emülsiyonları oluşturulmuştur. Zencefilin yağ fazına ilave edilerek 4 ° C`de 24 saat karıştırılması ve ayrıca hazırlanan emülsiyonlara zencefil katılıp 2 saat karıştırılması şeklinde emülsiyonlar iki ayrı formda hazırlanmıştır. Çalışmanın ilk kısmında emülsiyonların fiziksel stabiliteleri pH değişimi, sıcaklık artışı, iyonik şiddet etkisi analizleri yardımıyla belirlenmiştir. Daha sonra emülsiyonların oksidatif stabiliteleri depolama boyunca 37 ° C sıcaklıkta 24 gün bekletilerek Peroksit değeri (PV) ve TBA Sayısı analizleri yapılmıştır. Emülsiyonların partikül boyutları 0,200 µm ile 0,380 µm arasında ve partikül boyutu sıralaması GA>WP>QS şeklindedir. Emülsiyonların partikül yükleri -36,8 mV ile -72,3 mV arasındadır. Partikül yükleri bakımında sıralama ise GA>WP>QS şeklindedir. Emülsiyonlar oksidatif stabilite yönünden incelendiğinde her 3 emülsiyonun da kontrol grubuna kıyasla peroksit değerlerinin çok daha düşük olduğu ve oksidatif yönden daha stabil oldukları belirlenmiştir. Tüm emülsiyonlarda TBARS değerlerinin de lipid peroksit oluşumuna benzer şekilde ancak daha hızlı artış gösterdiği tespit edilmiştir. Zencefilin kendine has tat, koku ve aromasının emülsiyon oluşturma yöntemi ile değişimi Gaz-Kütle spektromotografisi (GC-MS) ile analizlenmiştir. Analiz sonucuna göre zencefile ait karakteristik uçucu bileşenlerin absorplandığı belirlenmiştir. Çalışma neticesinde zencefil, keten tohumu yağı ve doğal sürfaktanlar (GA, WP, QS) kullanılarak fiziksel ve kimyasal yönden başarılı emülsiyonlar oluşturulmuştur. Sonuç olarak toz hale getirilmiş zencefilin emülsiyon oluşturmak suretiyle enkapsüle edilmesinin zencefilin biyoaktif bileşenlerini koruduğu, fiziksel yapıyı olumlu etkilediği, zencefilin kendine has tat, koku ve aromasını maskeleydiği aynı zamanda emülsiyonun yağ fazı olan keten tohumu yağının oksidatif stabilitesini arttırdığı belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen veriler zencefil içeren gıda ürünleri tasarımlarına katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Zencefil, Enkapsülasyon, Emülsiyon, Oksidatif Stabilite, Keten Tohumu Yağı

ABSTRACT

Master Thesis

Author Name and Surname

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

91+xi sayfa

2023

Supervisor: Doç. Dr. Sibel ULUATA

In this study, oil-in-water emulsions were prepared with a high pressure homogenizer using 5% linseed oil (100 mg/g oil with and without ginger) and 95% water phase (containing 1% Gam Arabic, Quillaja Saponin, Whey Protein). The emulsions were prepared in two different forms by adding ginger to the oil phase and stirring at 4°C for 24 hours and also by adding ginger to the prepared emulsions and stirring for 2 hours. In the first part of the study, the physical stability of the emulsions was determined with the help of pH change, temperature increase, ionic strength effect analysis. Then, the oxidative stability of the emulsions was analyzed by Peroxide value (PV) and TBA Number by keeping them at 37 °C for 24 days during storage. The particle sizes of the emulsions were between 0.200 µm and 0.380 µm and the particle size order was GA>WP>QS. The particle charges of the emulsions were between -36.8 mV and -72.3 mV. The order in terms of particle loads is GA>WP>QS. When the emulsions were analyzed in terms of oxidative stability, it was determined that all 3 emulsions had much lower peroxide values and were more oxidatively stable compared to the control group. In all emulsions, TBARS values were found to increase similarly to lipid peroxide formation but more rapidly. The changes in the specific taste, odor and aroma of ginger with emulsion formation method were analyzed by Gas-Mass spectromotography (GC-MS). According to the results of the analysis, it was determined that the characteristic volatile components of ginger were absorbed. As a result of the study, physically and chemically successful emulsions were formed using ginger, linseed oil and natural surfactants (GA, WP, QS). As a result, it was determined that encapsulation of powdered ginger by forming emulsions preserved the bioactive components of ginger, positively affected the physical structure, masked the unique taste, odor and aroma of ginger, and at the same time increased the oxidative stability of linseed oil, the oil phase of the emulsion. The data obtained in this study will contribute to the design of food products containing ginger.

Keywords: Ginger, Encapsulation, Emulsion, Oxidative Stability, Flaxseed Oil

GİRİŞ

Gelişen teknoloji, yoğun çalışma temposu insan hayatında hemen her konuda köklü değişikliklere yol açmıştır, bunlardan biri de insan beslenmesinin şekli ve tarzında meydana gelen değişikliktir. Hızla küreselleşen dünya ile sınırlı kalmayıp farklı gezegenlerde yaşama fikrini ortaya koyan insan için geleneksel yöntemlerle hazırlanıp muhafaza edilen gıdanın dışında yeniliklere ihtiyaç duyulduğu bilinen bir gerçektir. Paketli gıdalara, hazırlanması ve tüketime sunumu kolay yiyeceklere yönelim artarken doğala olan ihtiyaç da günden güne artmaktadır. Endüstriyel üretim, seri ve standardize edilmiş olması yönüyle çeşitli avantajlar sağlıyor olsa da gıdaların pişirilmesi, işlenmesi, depolanması sırasında gıdanın yapısında besin değeri ve biyoyararlanım bakımından ciddi kayıplara yol açmaktadır. Bunun yanı sıra artan dünya nüfusu ve azalan doğal kaynaklar gıda teknolojisi ve gıda bilimiyle ilgilenenlerin yeni kaynaklar bulunması ve var olan kaynakların mümkün olduğu en iyi şekilde işlenmesi ile ilgili çalışmalara yönlendirmiştir. Su kaynakları, tarım arazileri, bitkisel ve hayvansal gıda kaynakları hızla azalmakta ve yakın gelecekte dünyanın beslenme sorunları ile ciddi şekilde yüzleşeceği düşünülmektedir.

Bundan dolayı bilimsel çalışmalardaki yönelim, kayıpları önleyecek ve biyoyararlanımı arttıracak üretim modelleri oluşturmaya yönelmektedir. İşlenmiş gıdanın maksimum verim minimum kayıpla işlenmesi, yapısındaki yararlı bileşenlerin korunması düşüncesi sadece insanlar için değil doğal döngü ve sürdürülebilirlik açısından da gereklidir.

Sağlıklı bir yaşam; büyüme, gelişme, vücudun fiziksel ve zihinsel fonksiyonların yerinde olması için ön koşul yeterli ve dengeli beslenmedir. Besinlerin temel fonksiyonu organizmanın metabolik faaliyetleri için gerekli olan enerjiyi sağlamaktır. Ancak son zamanlarda gıdalarda enerji ihtiyacını karşılama fonksiyonunun yanı sıra sağlığı olumlu etkileme, hastalıklardan koruma beklentisi de oluşmuştur. Özellikle son yıllarda bilimsel çalışma ve araştırmalar sağlık ve hastalıklar arasındaki ilişkinin beslenme ile de ilgili olduğunu ortaya koymuş olup, epidemiyolojik çalışmalar tüketilen gıdaların metabolik ve kronik hastalıkların önlenmesinde etkili olduğunu işaret etmektedir (Çelebi ve Kaya, 2017).

Gıdaların yapısında bulunan yararlı biyoaktif bileşenlerin korunması birçok yönüyle gerekli hale gelmiştir. Bunların başında biyoaktif maddelerin insan sağlığı ve hastalıkların

önlenmesi için gerekli olmaları gelmektedir. Gıda teknolojisi ve gıda biliminin güncel çalışma konusu olan biyoaktif maddeler artan ilgi ve büyüyen tüketici talebiyle her geçen gün daha fazla ilginin odağı olmaktadır.

Artan sağlık maliyetleri ve sağlıklı yaşam kalitesini sürdürme arzusu araştırmacıların dikkatini diyet, bitki besinleri, hastalıkların önlenmesi ile sağlığın korunması gibi konulara yöneltmiştir. Yapılan araştırmalar bitkilerdeki biyomoleküllerin sağlığın korunması ve geliştirilmesinde önemli rol oynadığını göstermektedir. Bitki korumasında görev yapan ve bitkinin yapısında doğal olarak bulunan fitokimyasallar 21. yüzyılın vitaminleri olarak adlandırılmaktadır. İlaçlara kıyasla daha az toksik olmaları ve insan diyetine entegre edilebilir olmaları kullanımlarında avantaj sağlamaktadır (Krishnaswamy, 2008).

Son yıllarda tüketilen besinlerin insan sağlığını desteklemesi fikri her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Üretilen gıdalar fonksiyonel gıda olarak üretilmektedir. Gıdanın kalitesi en az varlığı kadar önem arz etmektedir (Symoniuk ve diğ., 2017). Özellikle kanser, diyabet, metabolik hastalıklar gibi rahatsızlıklara karşı nutrasötik bileşiklerin kullanılması ve sentetik ilaçlara destekleyici olarak genel kabul görmeye başlamaları bilinen bir gerçektir. Bu durumun temel nedenlerinden biri sentetik ilaçların uzun süreli kullanımda ciddi yan etkilerini bulunurken doğal nutrasötiklerin ilaçlara kıyasla oldukça temiz içerikli ve zararsız yapıda olmasıdır (Semwal et al., 2015).

Zencefil biyoaktif yönden zengin bileşenleri barındıran ve uzun yıllar boyunca kullanılan bitkisel bir kaynaktır. Özellikle mide bulantısını bastırıcı etkisi ile bilinmektedir. Zencefilin yapısındaki biyoaktif bileşenler kimyasal yapıları sebebiyle ısı, ışık, pH, tuz konsantrasyonu, metal iyonları varlığı gibi etmenlerle kolaylıkla bozulabilmekte ve yararlı etkilerini kaybetmektedirler. Zencefilin yapısındaki bileşenlerin çoğunluğu non-polar yapıda ve su gibi polar çözücülerde düşük çözünürlük özelliği göstermektedirler. Zencefilin faydalı özellikleri yanı sıra tüketim miktarı oldukça düşük düzeydedir. Kendine has tat, koku ve aroması her bireyin tercihine, tüketimine hitap etmemektedir. Zencefilin doğal yapısından kaynaklı sınırlamalar ve tat aromasına bağlı engelleyici durumlar kullanımını arttırmada yeni alternatifler sunmayı zorunlu kılmaktadır. Son yıllarda baskın ve istenmeyen tatların maskelenmesinde yoğun olarak kullanılan enkapsülasyon yöntemleri bu taleplere cevap olmaktadır.

Bu çalışma kapsamında amaç zencefilleri kurutup toz haline getirdikten sonra zencefil içeren emülsiyon sistemler oluşturmak ve oluşturulan bu sistemlerin fiziksel (pH, termal stabilite, iyonik şiddet) ve oksidatif stabilitelerini belirlemektir. Çalışmanın diğer araştırma konuları ise toz zencefilleri emülsiyonların yağ ve su fazına katarak fiziksel ve oksidatif stabiliteye etkilerini incelemek ayrıca emülsiyonlarda uçucu bileşen analizi yaparak emülsiyon sistemlerde koku absorpsiyonunun olup olmadığını test etmektir. Belirlediğimiz yöntem sayesinde toz zencefil ile emülsiyonlar oluşturularak biyoaktif maddeleri muhafaza etmek ayrıca zencefilin kendine has tat, koku ve aromasını maskeleyerek daha rahat tüketilmesini sağlamak hedeflenmiştir. Sonuç olarak nihai hedef zencefil içeren model gıda sistemleri oluşturulmasına katkı sağlamaktır.



KURAMSAL TEMELLER

2.1 Zencefil

2.1.1 Zencefilin yapısı ve tarihçesi

Zencefil bilimsel adı ile *Zingiber Officinale Roscoe*, Güneydoğu Asya kökenli *Zingiberaceae* familyasında bulunan bir bitkidir (Li ve diğ., 2019). Bitki, İngiliz botanikçi William Roscoe (1753-1831) tarafından 1807`de bulunmuş ve bitkiye *Zingiber officinale Roscoe* ismi verilmiştir (Şentürk, 2014). Zingiberis “ geyik boynuzu şeklinde olan” anlamına gelen Sanskritçe “ shringavera” kelimesinden türemiştir. 2000 yılı aşkın bir süredir baharat ve ilaç olarak yakın zamandan beri de gıda takviyesi olarak kullanılmaktadır (Vasconcelos, 2019). Bitkinin tarihi ile ilgili net bilgiler olmamakla beraber zencefile ait en eski kayıtlara Çin kaynaklarında rastlanmaktadır (Badoni ve diğ., 2015). Bitki M.Ö 4. Yüzyıldan beri karaciğer hastalıkları, mide bulantısı ve gastrointestinal bozuklukların tedavisi için kullanılmakta olup Marco Polo`nun eserlerinde, 13. Yüzyılda Hindistan`da zencefilin kullanıldığı yer almaktadır (Barceloux, 2008).

Zencefil bitkisi uygun iklim koşullarında 1,5 m yüksekliğe ulaşabilmektedir (Şekil 2.1). Anavatanı Güney Asya olmakla birlikte tropik ve subtropik iklimlerde yaygın yetiştirme alanı bulmaktadır. Bitkinin başlıca üretim yerleri Hindistan, Çin, Tayvan, Nijerya ve Jamaika gibi ülkelerdir. Hasat taze zencefil ekiminde 5-6 ay iken kuru zencefil ekiminde 8-9 ayı bulmaktadır (Barceloux, 2008). Zencefil 2500 yıldan bu yana başta Çin ve Hindistan`da olmak üzere dünyanın hemen her yerinde geleneksel tedavide bitkisel ilaç olarak geniş kullanım alanı bulmaktadır. Son yıllarda zencefil özellikle osteoartrit, bulantı ve kusma, gastrointestinal hastalıklar, metabolik bozukluklar, kanser gibi hastalıkların tedavisinde kullanılmaktadır. Zencefilin besleyici ve farmakolojik aktivitesi esas olarak yapısında bulunan biyoaktif fenolik maddelerden özellikle gingerol ve shogaollerden ileri gelmektedir (Wang ve diğ., 2020). Bitkinin rizomları baharat olarak kullanılan kısımlarıdır ve kendine has güçlü tat, aromaya sahiptir. Zencefil günümüzde değişen iklim koşulları ve teknolojik imkânlarla beraber hemen hemen tüm dünyada yetiştirilmektedir. Yetiştirildiği bölgelerde genellikle soğuk algınlığı ve öksürüğün tedavisinde kullanılmaktadır (Badoni ve diğ., 2015).



Şekil 2. 1: Zencefil bitkisi ve köksapları

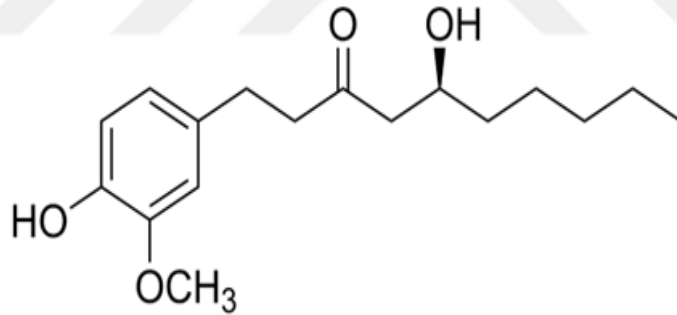
Zencefil bitkisinin tatlandırıcı, baharat ya da bitkisel ilaç olarak kullanılan bölümü rizom (köksap) bölümüdür (Şekil 2.1). Rizom bölümü yağ, karbohidrat, protein, lif, su ve uçucu yağ içerir (Singletary, 2010). Zencefil rizomları kurutulur ve öğütülerek kullanılır. Bitkininin baharatı ve esansiyel yağı ABD Gıda ve İlaç İdaresi (FDA) tarafından GRAS statüsünde yer alan gıda katkı maddelerindendir. Genellikle güvenli olarak kabul edilmektedir. Zencefil tüketimi ve tüketici pazarı her geçen gün artarak devam etmektedir (Braga, 2019).

2.1.2 Zencefilin kimyasal yapısı

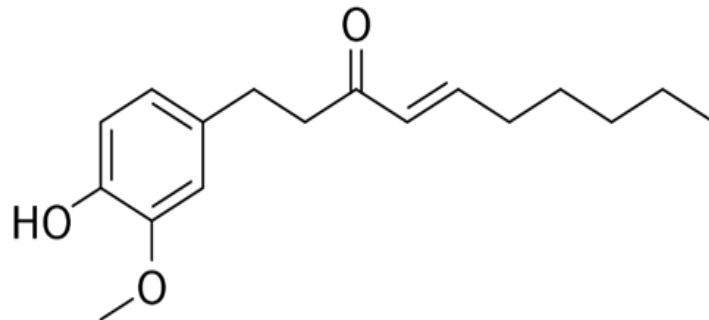
Zencefil rizomu %60-70 karbohidrat, %3-4 lif, %9 protein, %8 kül, %3-4 lipid, %2-3 uçucu yağ içermektedir. Zencefilin kendine has tat, koku ve aroması yapısında %3 oranında bulunan uçucu (terpenik) yağlardan ileri gelmektedir. Zencefil esansiyel yağında seskiterpenoidler bulunmaktadır. Zencefil gingerol, shogaol, paradol gibi uçucu bileşenler ve zingeron gibi uçucu olmayan biyoaktif fenolik maddeler yönünden oldukça zengindir (Srinivasan, 2017). Protein, lipit ve lif içeriği zencefil çeşidine ve olgunlaşma aşamalarına göre değişmektedir. Aktif bileşenler ekstraksiyon yöntemleri ile elde edilmektedir (Braga, 2019).

2.1.3 Zencefilin bileşenleri

Zencefil distile edildiğinde zencefilin türüne göre %1-3,5 oranında uçucu yağ elde edilir. Uçucu yağın miktarı zencefil suşuna ve kaynağına (yaş-kuru) olmasına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Taze zencefil rizomlarından elde edilen zencefil yağında özellikle seskiterpen hidrokarbonlar, α -zingiberen (%27-30), α -curcumene (%8-9), β -sesquiphellandrene (%4,8) ve bisabolene (%3,2) bulunmaktadır (Şekil 2.4). Zencefilin yapısında bulunan karakteristik ve oranca fazla bileşikler gingerollerdir. Yapısında en fazla 6-gingerol daha sonra sırasıyla 8-gingerol, 10-gingerol, metilgingerol, gingerdiol, dehidrogingerdione, gingerdiones, curcuminoids, diterpen lactone ve galanolactone bulunmaktadır (Şekil 2.2). Gingeroller dışında shogaol, paradoller, izogingeroller, izoshogaoller, gingerdions, metoksi-gingeroller, mono ve di asetoksi-gingerdioller, dihidro-paradoller ve bazı metil eter türevleri bulunmaktadır (Şekil 2.3). Gingeroller ısı, ışık, pH ve O₂ ye dayanıklı değildir. Gingeroller dehidrate olurken shogaollere dönüşmektedir. Bu sebeple taze zencefilde zingerone ve shogaol bileşikleri nadiren bulunurken kurutulmuş zencefilde bu miktar önemli ölçüde artmaktadır. Kurutulmuş zencefilde shogaol dışında vanilin, dihidroferulik asit, ferulik asit, zingeron bulunmaktadır (Barceloux, 2008).



Şekil 2. 2: Zencefilin baskın bileşeni 6-Gingerol

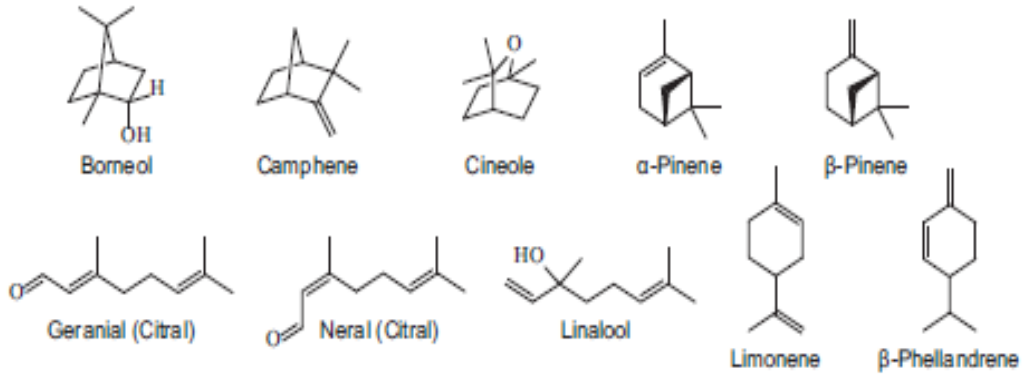


Şekil 2. 3: Zencefil bileşenlerinden shogaol

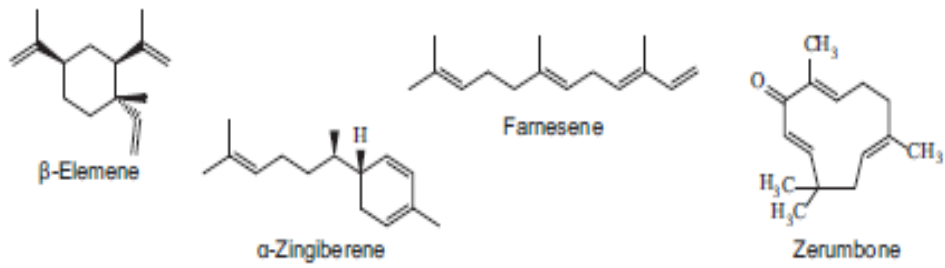
Zencefil rizomu bileşen bakımında oldukça zengindir. Yapısında karbohidrat, protein, yağ, diyet lifi bulunmaktadır. Fitokimyasal profili ise demir, kalsiyum, C vitamini, karoten, polifenoller, flavonoidler ve antosiyanidinlerden meydana gelmektedir. Fitokimyasal bileşimi ağırlıklı olarak zingiberen, beta-bisapolen, alfa-farnesan, beta-sesquifellandren ve alfa-kurkumen gibi terpenler ve gingerol, paradol ve shogaol gibi fenolik bileşenlerden oluşmaktadır. Bileşenlerden 6-gingerol, 6-shogaol, 8-gingerol ve 10-gingerol gıda takviyelerinin ana bileşenleri olarak karakterize edilmiştir. Zencefil rizomu organik asitler bakımından da zengindir. Rizomda sitrik, malik, oksalik, süksinik ve tartarik asit bulunmaktadır (Vasconcelos, 2019).



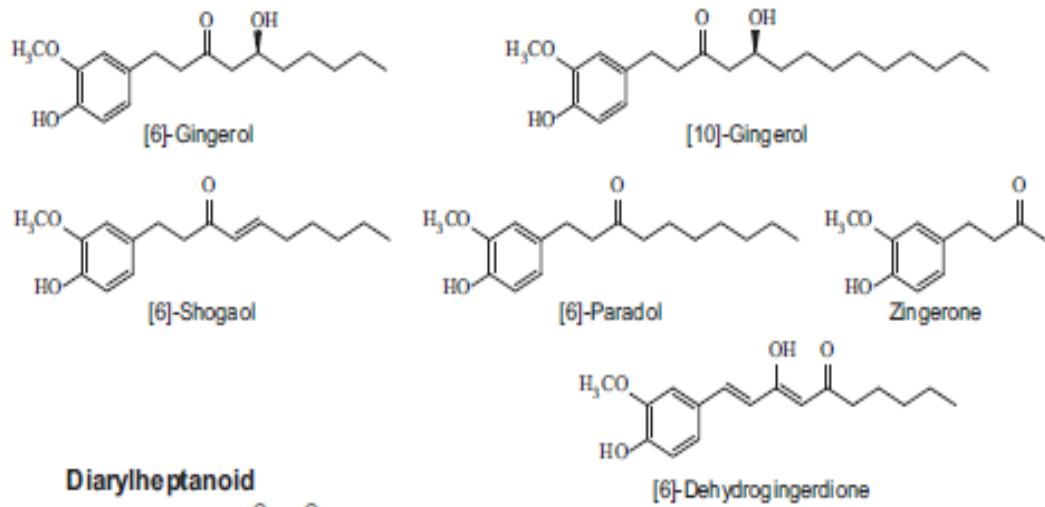
Monoterpene



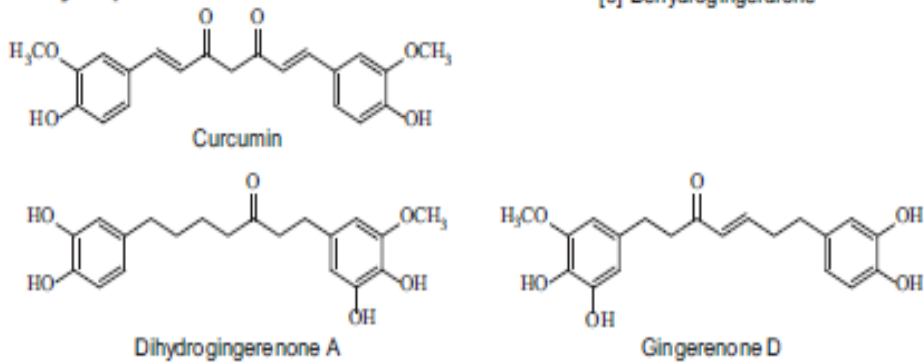
Sesquiterpene



Phenolic



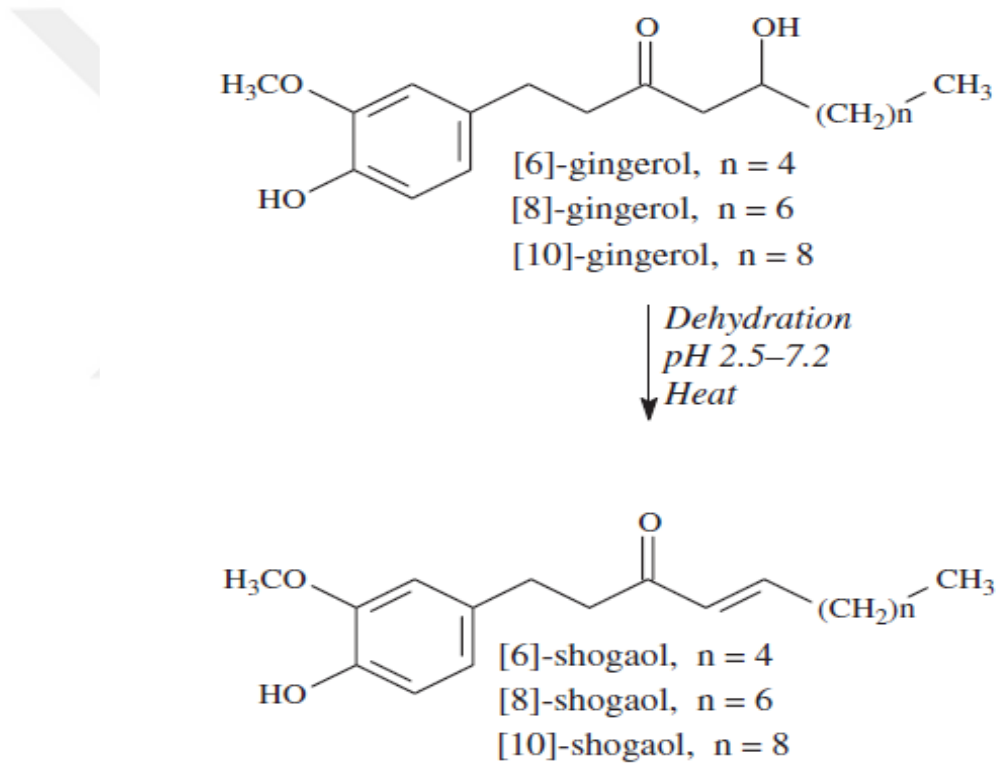
Diarylheptanoid



Şekil 2. 4: Zencefilin bileşenleri (Kiyama, 2020)

2.1.4 Zencefilin emilimi

Zencefil bileşenlerinden gingerol rizomun kurutulmamış yaş halinde yoğun olarak bulunurken rizom kurutulduğunda gingerol bileşeni shogaollere dönüşmektedir (Şekil 2.5). Zencefilin sindirim sonrası emilimi ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. *İn vitro* çalışmalarda dehidre üründe bulunan shogaollerin vücut sıcaklığında (37 °C) asidik mide ortamında hemen hemen tamamen gingerollere dönüştüğü tespit edilmiştir. Bu durum gingerollerin shogaollere dönüşümünün geri dönüşümlü olduğunu ve zencefilin kurutulmasının biyoyararlığında azalma oluşturmadağını göstermektedir (Barceloux, 2008).

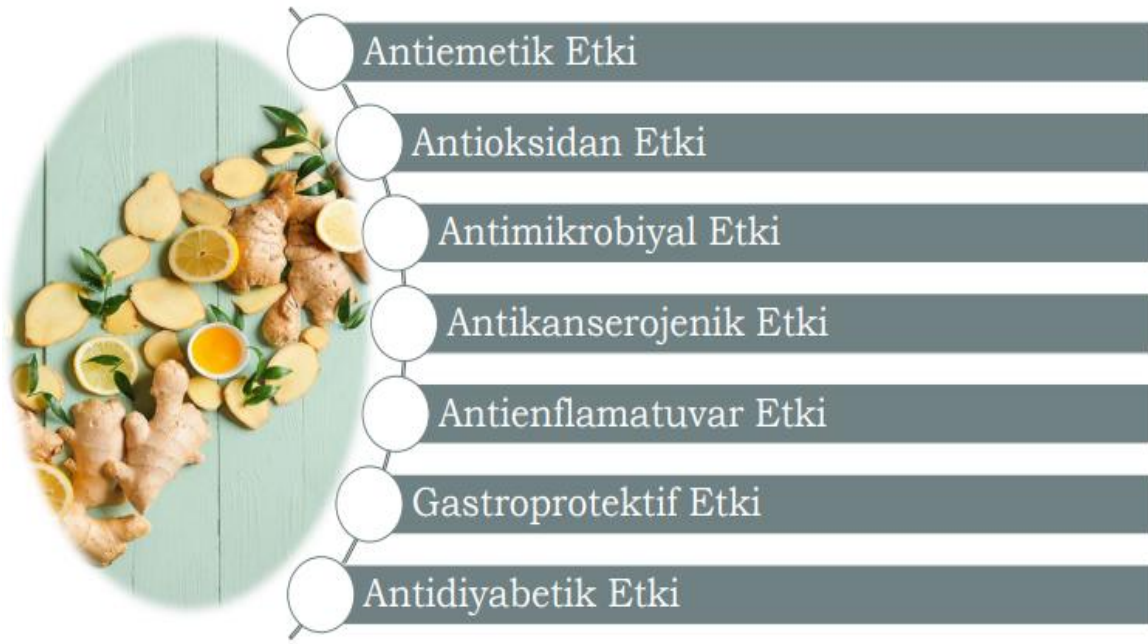


Şekil 2. 5: Gingerol bileşeninin ısı, kurutma ve pH değişimleri ile shogaollere dönüşmesi

(Barceloux, 2008)

2.1.5 Zencefilin Sağlığa Etkileri

Zencefilin gastrointestinal sistemin hareketliliğini arttırdığı ve antiemetik, antibakteriyel, antiviral, analjezik ve antipiretik özelliklere sahip olduğu bilinmektedir (Şekil 2.6). Zencefilin başlıca farmakolojik özellikleri bağışıklık düzenleyici, antienflamatuar, antitümörijenik, antihiperglisemik, anti lipidemik etkileridir (Srinivasan, 2017).



Şekil 2. 6: Zencefilin sağlığa yararlı etkileri

2.1.5.1 Sindirim üzerine etkisi

Zencefilin sindirimi uyarıcı yönü bilinen en eski ve yaygın etkisidir. Sindirime etkisinin önemli ve kanıtlanmış yollarından biri tükürüğü arttırmasıdır. Hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalarda sindirim uyarıcı etkiyi safra asidi üretimini ve salgısını arttırmak suretiyle sağlamış olduğu belirlenmiştir. Zencefilin bu etkiler haricinde pankreas lipaz, amilaz ve proteazların aktivitesini önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir. Zencefilin safra salgısını ve lipaz enziminin aktivitesini artırma durumu insan diyetinde yağların daha kolay sindirilmesini ve yağın daha kolay metabolize edilmesini sağlamaktadır. Zencefilin tüm bu etkileri nedeniyle gastrointestinal sistemde sindirim süresini kısalttığı, sindirimi kolaylaştırdığı ve

yağ yakımını hızlandırdığı düşünülmektedir (Srinivasan, 2017).

Zencefilin peptik ve duodenal ülserler ve diğer gastrointestinal hastalıkların tedavisi ile ilgili pek çok çalışma bulunmaktadır. Ülser genellikle asit, pepsin ve *Helicobacter pylori* gibi etkenlerin saldırısı ile ortaya çıkan bir rahatsızlıktır. Zencefil özellikle anti-enflamatuar etkisi ile mide mukozasını ülserojenik ajanlara karşı korumaktadır. Aynı zamanda antioksidan aktivitesi sayesinde ülserogenez vakalarında faydalı olduğu bildirilmiştir (Al-awwadi, 2017)

2.1.5.2 Gastrointestinal sisteme etkiler

Zencefilin mukozal glikoproteinler üzerinde olumlu etkisi olduğu ve mukoza tabakasındaki hasarları azalttığı yapılan hayvan deneyleri ile kanıtlanmıştır. Bunun dışında başka bir deneysel çalışmada zencefil alımının hayvanlar için demir, çinko, kalsiyum ve β -karotenin emilimini arttırdığı kanıtlanmıştır. Genel olarak zencefilin mikro besin emilimini kolaylaştırdığı düşünülmektedir. Zencefil biyoaktif maddelerinden biri olan 6-gingerol alındığında birden fazla hedefe etki etmesi yönüyle terapötik bir ajan olma özelliğine sahiptir. Zencefilden elde edilen nanopartiküller inflamatuvar bağırsak hastalığının tedavisinde kullanılmak üzere farklı çeşitlerde geliştirilmektedir (Srinivasan, 2017).

Zencefilin oral yolla alımında gastrointestinal sistemde hareketliliği arttırdığı gözlenmiştir. Bu etkinin 6,8,10-gingerollerin antiseratojenik aktivitesinden ileri geldiği tespit edilmiştir. Zencefilin gastrik hareketi arttırarak kusma ve hazımsızlığı önlediği uygulamalar sonucu elde edilmiş bir bilgidir. Bunun dışında zencefil uçucu yağlarının aseton içeren formda alınmasının safra salgısını arttırdığı fakat sulu fazının etkisiz olduğu bildirilmiştir (Altu, 2010).

Zencefilin geleneksel kullanımında sağlığa etkisi özellikle sindirim sistemi ve gastrointestinal sistem üzerine olumlu etkileridir. Günümüzde yapılan çeşitli çalışmalarda zencefilin kronik inflamatuvar bir bağırsak hastalığı olan ülseratif kolitin tedavisinde kullanılabileceği ifade edilmektedir. Zencefil kullanımının ülseratif kolite bağlı gelişen inflamasyonu ve komplikasyonları azaltmada etkili olduğu bildirilmiştir. Hayvanlar üzerinde yapılan bir çalışmada farelere ülseratif kolit başlangıcından 3 gün önce ve başlangıçtan 7 gün sonrasını kapsayan süreçte (rektal asetik asit uygulamasıyla) uygulanan zencefil ekstraktının ülseratif

kolite karşı olumlu etkileri olduğu bildirilmiştir. Bu etkinin zencefilin antioksidan ve anti-enflamatuar etkisi nedeniyle oluştuğu düşünülmektedir. Çalışma neticesinde zencefil uygulamasının ülseratif kolitli fareleri iyileştirdiği ve buna bağlı olarak zencefil bitkisinin ülseratif kolit hastalığının tedavisinde özellikle düşük yan etkileri ve sağlığa olumlu etkileri de göz önünde bulundurulduğunda iyi bir tedavi uygulaması olduğu söylenebilmektedir (Srinivasan, 2017).

Zencefil, yapısındaki kimyasal bileşenlerin etkisiyle pıhtılaşmayı etkileyen diğer ilaçlar ve bitkilerle alındığında kanama riskini arttırabilir. Ayrıca tromboksan oluşumu ve trombosit agregasyonu engelleyebildiği için antikoagülanlarla beraber kullanılması önerilmez. Ancak bu potansiyel etkinin olduğuna dair net bir kanıt bulunmamaktadır (Barceloux, 2008). Zencefile ilgili yapılan çalışmalarda zencefilin insan tüketimi için günlük 2000 mg dozlarına kadar güvenli olduğu vurgulanmıştır (Vasconcelos, 2019). Genel olarak zencefilin toksik etkisi ile ilgili çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Aşırı zencefil kullanımının sedasyona yol açabileceği ile ilgili görüşler mevcuttur. Klinik çalışmalarda ise yan etki olarak baş ağrısı, ishal, abdominal rahatsızlık, reflü, uyuşukluk görülmüştür (Barceloux, 2008).

2.1.5.3 Lipit metabolizmasına etkisi

Diyetle alınan zencefilin lipit düşürücü etkisi dolayısıyla kilo vermede etkili olduğu ve kardiyovasküler hastalık riskini azalttığı fikri yapılan deneylerle desteklenmektedir. Sıçanlarla yapılan bir çalışmada 20 gün boyunca %1 kolesterol içeren diyetle alınan %0,05 zencefilin kontrol grubuna kıyasla deney hayvanlarında serum ve karaciğer kolesterol seviyeleri daha düşük, dışkıda ise kolesterol daha yüksek bulunmuştur (Srinivasan, 2017).

2.1.5.4 Antimikrobiyal etki

Günümüzde tüketici ve üreticilerin taleplerinin hem besleyici hem de sağlığı destekleyici etkisi olan fonksiyonel gıdalara kayması durumu, bilimsel araştırmaların da bu yönde olmasını sağlamaktadır. Zencefilin sulu etanollü ekstraktı *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella Typhimurium*, *E.coli* ve *Candida albicans* türlerine karşı antimikrobiyal etki gösterdiği bulunmuştur (Altı, 2010).

Zencefilin veya metabolitlerinin antimikrobiyal aktivitelere ilişkin çok fazla veri yoktur. Bununla birlikte, bazı çalışmalar, metabolitlerin aslında diğer antimikrobiyal bileşiklerin aktivitelerini artırdığını ve böylece etkinliklerini arttırdığını göstermiştir. Zencefil ile ilgili bileşiklerin bu kabiliyetinin, bakteriyel hücre duvarlarını parçalanmasıyla ilişkili olabileceği, muhtemelen patojenlerin direncinin birikmesine müdahale edebildiği ve böylece antibiyotiklerin faydalı ömrünü uzatabileceği tartışılabilir. Zencefilin antimikrobiyal etkisini araştırmak için yapılan bir çalışmada gingerol analoglarından 10- ve 12-bileşenleri üç oral patojene, *Porphyromonas gingivalis*, *Porphyromonas endodontalis* ve *Prevotella intermedia*'ya karşı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda patojen mikroorganizmalar için 6 ila 30 g / mL arasında değişen MIC (minimum inhibisyon konsantrasyonu) ve 4 ila 20 g / mL arasında değişen MBC (minimum bakterisidal konsantrasyon) değerleri bulunmuştur. İnhibisyon durumunu belirlemek amacıyla yapılan bir başka çalışmada *Helicobacter pylori*'ye karşı 6-, 8-, 10-GN ve 6-SG için 1.6 ila 25 g / mL arasında değişen MIC değerleri ölçülmüştür. Test edilen tüm bileşenler arasında, 10-GN en aktif, 6-SG ise en az aktif olarak bulunmuştur. Çalışmada pozitif kontrol olarak amoksisilin ve negatif kontrol olarak % 50 PEG400 (polietilen glikol 400) kullanılmış ve sonuçlar karşılaştırıldığında *Helicobacter pylori*'ye karşı 6-GN için 0.02 mg / mL MIC değerinin olduğu bildirilmiştir (Semwal ve diğ., 2015).

Bakteriyel, fungal ve viral hastalıkların yayılması özellikle zaman içinde antimikrobiyal direnç oluşması nedeniyle önemli tehdit oluşturmaktadır. Yapılan çalışmalar birçok bitki ve baharatın patojenik mikroorganizmalara karşı doğal antimikrobiyal etki gösterdiğini ortaya koymuştur. Son yıllarda zencefilin antibakteriyel, antifungal ve antiviral aktivite gösterdiği yapılan çalışmalarda gösterilmiştir. Özellikle biyofilm oluşumu enfeksiyon ve antimikrobiyal direncinin önemli bir kısmıdır. Yapılan bir çalışmada zencefilin membran bütünlüğünü etkileyerek ve biyofilm oluşumunu inhibe ederek ilaca dirençli bir mikroorganizma suşu olan *Pseudomonas aeruginosa* suşunu büyümesini durdurduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde hasta bir grup sıçanın tedavisi esnasında verilen zencefilin *Streptococcus mutans*'ın neden olduğu çürük gelişiminde azalma sağladığı bulunmuştur. Bir başka *in vitro* çalışmada gingerenone-A ve 6-shogaol'ün patojende 6- hidroksimetil-7, 8-dihidropterin pirofosfokinaz aktivitesini inhibe etmek suretiyle *Staphylococcus aureus* üzerinde inhibe edici bir etki gösterdiği ortaya çıkmıştır (Mao ve Xu, 2019).

Oral kandidiyaz tedavisinde lokal ve sistemik yöntemlerle kullanılan zencefil, sarımsak, zerdeçal gibi nötrasötiklerin ağız bakteri florasını etkileyerek diş çürüğünün ana etken

mikroorganizması olan *Streptococcus mutans* gibi bakterilere karşı etkin oldukları yapılan çalışmalarda gösterilmiştir (Harshal P, 2019).

2.1.5.5 Sitotoksik etki

Günlük hayatta gıda takviyesi olarak kullanılan ve halk sağlığı açısından çok önemli yer tutan bazı bitkisel kaynakların düzenli olarak alınmaları halinde hücrelerdeki sitotoksitelerini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada kullanılan bitkisel kaynaklardan biri de zencefildir. Çalışma *in vitro* hücre kültürü çalışmasıdır ve çalışmada fibroblast hücreleri kullanılmıştır. Sitotoksiteyi belirlemek için MTT (3,[4,5-dimethylthiazol-2-yl]-2,5 diphenyltetrazolium bromide) hücre canlılığı testi kullanılmış ve hücre canlılığı %70'in altında olduğu belirlendiğinde bitkisel kaynağın sitotoksik potansiyelde olduğu kabul edilmiştir. MTT testinde elde edilen absorbans değerleri baz alınarak elde edilen canlılık değerlerine bakıldığında zencefil ekstraktının en yüksek konsantrasyonlarda dahi herhangi bir sitotoksikite göstermediği görülmüştür (Albuz, 2019).

Çizelge 2.1: Zencefil ekstraktının uygulandığı L929 fibroblast hücrelerindeki % canlılık değerleri (Albuz, 2019).

Konsantrasyon	% Canlılık Değerleri
1:2	71.8±3.72
1:4	89.6±4.6
1:8	94.9±5.7
1:16	96.8±2.9
1:32	102.5±2.5
1:64	105.6±5.4
Kontrol	100±0.04
Pozitif Kontrol- %20 DMSO	18.9±2.4

Zencefilin sitotoksitesi ile ilgili yapılan başka bir çalışmada ise zencefilin ham etanolik ekstraktının 34.26 mg/ml IC₅₀ ile insan kolanjiyosellüler kanser hücrelerine (CCA), CL-6 hücre hattına göre 3.5 kat karşı sitotoksik aktivite gösterdiği MTT yöntemi ile belirlenmiştir. Aynı çalışmada zencefil ekstraktının aynı yöntemle ölçüldüğünde 1:2 olan en yüksek konsantrasyonda dahi L929 fibroblast hücrelerinin %71.8 ile canlılıklarını devam ettirdikleri tespit edilmiştir (Çizelge 2.1). Bu çalışma sonucunda zencefilin sağlıklı hücreler ile

kanser hücreleri üzerindeki sitotoksik etkisi kıyaslandığında sitotoksik etkinin kanser hücrelerinde 3.5 kat fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu durum zencefilin sağlıklı hücelere zarar vermezken kanser hücrelerini olumsuz etkilediği ve bu yönüyle zencefil tüketiminin sağlığı destekleyici etkisi olduğu söylenebilmektedir (Albuz, 2019).

2.1.5.6 Antiemetik etki

Gebeliğe bağlı mide bulantısı ve kusma tüm gebelerin % 80`ini etkileyen ve hamilelik sürecini olumsuz etkileyen bir durumdur. Antiemetik kullanımı semptomların yapı olarak zaman sınırlı olması, gebelikte ilaç kullanılmasının potansiyel riskleri gibi faktörler kişileri farklı çözümler aramaya yönlendirmektedir. Doğal bir antiemetik olduğu yüzyıllardır bilinen ve bilimsel çalışmalarla desteklenen zencefilin kesin etki mekanizması bilinmemekle beraber antikolinerjik ve antiserotonin etkisine bağlı olarak peristaltizmi arttırmak suretiyle gastrik bir etki sağladığı düşünülmektedir. Farmakolojik aktivitesinin gingerol, shogaol, seksiterpen ve monoterpenlerden ileri geldiği düşünülmektedir (Bryer, 2005).

Zencefil rizomunda bulunan antiemetik etkili maddeler shogaol ve gingerollerdir. Bu etkinin gingerol, 6-shogaol ve galanolactonun 5-HT₃ reseptör fonksiyonunu inhibe etmesinden ileri geldiği düşünülmektedir. Yapılan *in vitro* çalışmalarda bu bileşiklerin 5-HT₃ reseptöründe rekabetçi antagonist olmadığı bunun sonucunda antiemetik etkinin bu bileşiklerin serotonininden farklı uygun bölgeye bağlanmasıyla ortaya çıktığı düşünülmektedir (Barceloux, 2008).

Bir hastanenin onkoloji servisinde tedavi görmekte olan meme kanseri hastalarına oral yoldan uygulanan günlük 1000 mg toz zencefilin, hastaların kemoterapi ve tedaviye bağlı gelişen akut ve gecikmiş bulantılarında azalma sağladığı bildirilmiştir. Zencefil kullanımı bulantı ve kusmayı önleme, kısmen rahatlatma amacıyla hastalar üzerinde terapötik etkiye sahiptir (Arslan, 2014).

Zencefilin gebelikteki bulantı ve kusma şikâyetlerini azaltma etkilerini araştırmak için İsfahan Şehir Hastanesinde yapılan bir çalışmaya hamilelik evreleri birbirine yakın 67 gebe kadın katılmıştır. Denekler yaş mesleki durum, eğitim düzeyleri, parite (doğum sayısı) gibi parametreler açısından benzer olacak şekilde seçilmiştir. Katılımcılar rastgele iki gruba ayrılmış deney ve kontrol grupları belirlenmiştir. Deney grubuna 4 gün boyunca günde 4 defa olmak üzere 250 mg zencefil verilirken, kontrol grubuna aynı reçete formuyla plasebo

verilmiştir. İki grubunda bulantı, kusma şikâyeti ile ilgili hazırlanan puanlama ölçeğini 4 gün boyunca günde 2 kez doldurmaları sağlanmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda zencefil kullanan gebelerin %85 'inde şikâyetler azalırken plasebo grubunda %56 oranında şikâyetler azalmıştır. Zencefilin ağrı kesici ve bulantı azaltıcı etkisini araştırmak için yapılan bir başka çalışmada; Primer dismenoreli 150 kadın, zencefil, mefenamik asit ve ibuprofen verilmek üzere üç eşit gruba ayrılmıştır. Denekler 18 yaş ve üstü yaş grubunda ve benzer şikâyetlere sahip kişilerden seçilmiştir. Zencefil grubundaki öğrenciler adet döneminin başlangıcından itibaren 3 gün boyunca günde 4 kere 250 mg zencefil tozunu kapsül formda almıştır. Diğer 2 gruptaki denekler de aynı protokolde sırasıyla 250 mg mefenamik asit ve 400 mg ibuprofen kapsüllerini almaları sağlanmıştır. Belirlenen gün sonunda Primer dismenorenin şiddetini değerlendirmek için sözel çok boyutlu bir değerlendirme anketi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda her 3 grupta da ağrı sıklığı ve şiddetinde benzer şekilde azalma görülmüştür. Yapılan çalışma ile zencefilin kadınlarda adet ağrısı ve buna bağlı gelişen mide bulantısını gidermede mefenamik asit ve ibuprofen kadar etkili olduğu sonucuna varılmıştır (Ozgoli ve diğ., 2009).

2.1.5.7 Antidiyabetik etki

Zencefile yapılan klinik çalışmalar antidiyabetik aktivite potansiyelinin yüksek olduğunu desteklemektedir. Antidiyabetik aktivitenin mekanizması ise insülin salınımı, karbohidrat ve lipid metabolizmalarını tersine çevirmesi ile açıklanmaktadır. Bu etkiyi sağlayan biyoaktif maddeler gingerol ve shogaollerdir. Zencefilin diyabet üzerine bir diğer etkisi de karaciğer, böbrek, göz ve sinir sisteminde diyabete bağlı olarak ortaya çıkan ikincil komplikasyonları hafifletmesidir. Zencefilin diyabete etkisini araştırmak için yapılan bir çalışmada farelere oral yoldan 30 gün boyunca 200 mg/kg zencefil verilmesiyle hiperglisemi, mitokondri içi ve dışı enzimler ile diyabete bağlı doku yaralanmalarına etkisi irdelenmiştir. Bu amaçla yapılan histolojik incelemede zencefil uygulanmasının böbrek tübillerini yenilediği, glomerullarını geri kazandırdığı ve yağ infiltrasyonunu azalttığı tespit edilmiştir. Diyabetik gruptaki farelerde yüksek kan şekeri seviyesinde zencefil uygulamasıyla önemli ölçüde düşüş yaşanmıştır. Diyabetli farelerde, hastalığa bağlı olarak glukoz-6- fosfat-dehidrojenaz, süksinat dehidrojenaz, glutamat dehidrojenaz, mitokondriyal ve ekstra mitokondriyal enzimlerin aktiviteleri azalmaktadır ancak 30 gün boyunca uygulanan zencefil tedavisinin bu durumu tersine çevirdiği görülmüştür (Srinivasan, 2017).

Zencefil tüketiminin Tip 2 diyabetin tedavisinde etkili olduğuna dair çalışmalar bulunmaktadır. Zencefil kullanımının olumlu etkisi özellikle uzun süreli kullanımda ortaya çıkmaktadır. Yapılan bir çalışmada günde 2 g zencefil tozu alan 32 hastadan oluşan bir grupta 2 aylık zaman dilimi sonunda insülin direnci indeksinde (HOMA) azalma görüldüğü bildirilmiştir. Üç ay boyunca günde 1.6 g zencefil alan 35 hasta üzerinde yapılan bir başka çalışmada zencefilin vücudun insüline duyarlılığını arttırmanın yanı sıra FPG seviyelerini düşürdüğü sonucu elde edilmiştir. Çalışmanın bir başka ilgi çekici sonucu ise bu aktivitenin doza bağlı olması olmuştur. Günlük 3 gram olarak alınan zencefil dozunda birinci ayın sonunda hipoglisemik etki başlayarak daha hızlı aktivite göstermiştir. Ayrıca günde 2 g zencefil alımında C-reaktif protein seviyesinde düşme olduğu elde edilen sonuçlar arasındadır. Bu sonuçla zencefilin diyabete bağlı gelişen inflamasyonu azaltmaya yardımcı olduğu bildirilmiştir (Braga, 2019). Elde edilen bu bilgiler zencefil ekstraktının diyabeti tedavi etmede ve bununla beraber diyabete bağlı gelişen komplikasyonları, vücuttaki hasarlarını önlemek ve düzeltmek yolu ile antidiyabetik olarak kullanılabileceği fikrini desteklemektedir.

2.1.5.8 Antioksidan etki

Reaktif oksijen türlerinin (ROS) vücutta serbest radikallerin artışına sebep olarak, birçok kronik hastalığın oluşmasında rol oynadıkları bilinmektedir. Vücutta serbest radikallerin ve reaktif oksijen türlerinin çoğalmasını çeşitli yollarla engelleyen maddelere “antioksidanlar” denilmektedir. Zencefilin antioksidan aktivitesi, demir iyonu indirgeyici antioksidan güç (FRAP), DPPH VE ABTS yöntemleri ile *in vitro* olarak değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde kurutulmuş zencefilin en güçlü antioksidan aktiviteyi sergilediği belirlenmiştir. Bunun nedeninin kurutulmuş zencefilin fenolik madde miktarının sırasıyla taze, kızartılmış ve kömürleşmiş zencefillerden 5.2, 1.1, 2.4 kat yüksek olduğu düşünülmektedir. Taze zencefil kurutulduğunda yapısındaki nemi kaybeder ve fenolik maddeler konsantre hale gelir böylelikle antioksidan aktivite artmış olur. Ancak diğer iki formda ısı işlemin miktarı ve süresi kurutma işleminden daha farklıdır. Bu durum yüksek ve uzun süreli olması sebebiyle fenolik maddelerin zarar görmesi ve antioksidan aktivitenin düşmesiyle sonuçlanır (Mao ve Xu, 2019)

Zencefil gibi biyoaktif madde yönünden zengin bitkilerde bulunan bileşiklerin birçoğu antioksidan etkiye sahiptir. Antioksidan etkinin mekanizması;

- ✓ Serbest oksijen radikallerini süpürme,
- ✓ Lipid peroksidasyonunu baskılama,
- ✓ Dokularda bulunan antioksidan enzim aktivitelerini arttırma,
- ✓ Endojen antioksidan enzim aktivitelerini arttırma,
- ✓ LDL oksidasyonunu inhibe etme gibi yollarla olmaktadır.

Diyabetli farelerle yapılan bir çalışmada zencefilin serebral korteks, hipokampus, hipotalamus gibi oksidatif strese direkt etkilenen organlara etkisi irdelenmiştir. Diyabete bağlı yüksek şeker seviyesi oksidatif stresi arttırmaktadır. Artan oksidatif stresin ve yüksek şekerin etkisiyle beyin hücrelerinde meydana gelen hasar şiddetlenmektedir. Farelere oral yoldan verilen zencefilin antioksidan enzim aktivitelerinde artış olmasını sağlamıştır. Ayrıca zencefil uygulaması lipid peroksit seviyesini aşağı çekmiştir. Çalışma sonunda elde edilen verilerle zencefilin çeşitli hastalıkları tetiklediği bilinen oksidatif stres düzeyini düşürdüğü, beyin antioksidan savunma mekanizmasını hızlandırarak vücutta nöroprotektif ve antioksidan etki gösterdiği bildirilmiştir (Srinivasan, 2017).

2.1.5.9 Antienflamatuar etki

Lipit peroksitler ve aktif yapıdaki makrofajlar artrit ve inflammatuar hastalıkların oluşmasında önemli rol oynamaktadır. Yapılan deneysel çalışmalar zencefil bileşenlerinin araşidonik asit metabolizmasını inhibe etmek suretiyle inflamasyonu engellediğini göstermiştir. Romatoid artrit ve osteoartrit olan hastalar üzerinde yapılan klinik çalışmalarda zencefilin antienflamatuar etkisi üzerine çalışılmıştır. Zencefil ekstaktının antienflamatuar etkisi (170 mg; günde 3 kez) dozu ile 56 osteoartrit hastaya uygulanmış, hastalarda artrite bağlı diz ağrısının azaldığı görülmüştür. Zencefil kullanımının hastalarda nonsteroid antienflamatuar ve analjezik ilaç alımında azalmaya sebep olduğu da gözlenmiştir. Zencefil biyoaktif bileşenleri romatoid artrit ve osteoartrit hastalıklarının sebep olduğu inflamasyonu ve ağrıyı azalttığı ve bunlara bağlı olarak hastaların daha az ilaç kullanmaya ihtiyaç duyduğu bildirilmiştir (Srinivasan, 2017).

Zencefilin antienflamatuar etkisi siklo-oksijenazlar (COX) ve lipo-oksijenazlar (LOX-5, LOX-12 ve LOX-15) gibi pro-inflamatuar enzimlerin aktivitesinin takip edildiği bir klinik çalışmada gösterilmiştir. 28 gün boyunca günlük 2 g zencefil toz alımının söz konusu enzimlerin aktivitesini düşürdüğü ve ürettikleri proinflatuar maddelerin, özellikle

eikosanooidlerin ve prostaglandin E₂'nin (PGE₂) seviyelerindeki düşüşlerle kanıtlanmıştır. Klinik bir çalışma ise akut inflamasyon ve kas ağrısı oluşturulan 24 sağlıklı erkek gönüllü üzerinde ağrı, şişme ve hareketliliğin azaltılmasında zencefilin etkisini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Kas ağrısı oluşturacak boyutta güçlü egzersizlere maruz kalan kişilere 24 ve 48 saat sonra 2 g zencefil veya plasebo verilmiştir. Alımdan 45 dakika sonra ağrı ve şişlikteki azalma her iki grup için de benzerken zencefil alımından 24 saat sonra alınan ölçümlerde iyileşme olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç zencefilin kas iltihabının ve buna bağlı ağrının günlük ilerlemesini zayıflatabileceğini göstermektedir (Braga, 2019).

Zencefil esansiyel yağlarının romatoid artritinin sebep olduğu kronik eklem iltihabını önlediği tespit edilmiştir. Ayrıca zencefil esansiyel yağlarının alkolik yağlı karaciğer hastalığına karşı antioksidan potansiyeli sayesinde hepatoprotektif aktivitesinin olduğu yapılan çalışmalarda görülmüştür (Vasconcelos, 2019). Zencefil bitkisinin sudaki ekstraktlarının araziidonik asit, ADP, epinefrin ve kollajen ile platelet agregasyonunu önlediği yapılan çalışmalarda belirlenmiştir (Altu, 2010).

2.1.5.10 Kanseri önleyici etki

Zencefil bileşenlerinin kanseri önleyici etkisi üzerine çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Zencefilin kanseri önleyici potansiyeli birden fazla mekanizma, deneysel yol kullanılarak araştırılmış ve kanıtlanmıştır. Zencefil biyoaktif bileşenlerinden özellikle 6- ginge-rolün tümör önleyici ve var olan tümör hücrelerinin çoğalmasını durdurucu etkilere sahip olduğu bulunmuştur. Yapılan bir çalışmada 6-gingerolün bölgesel uygulaması farelerde 7,12-dimetilbenz [a-] antrasen tarafından başlatılan tümör promoterini uyarmış ve deri inflamasyonunu önemli ölçüde azaltmıştır. Diyetle alınan 6-gingerol, galanol, A ve B diterpen bileşikler kültürlenmiş insan T lenfoma hücrelerinde hücre ölümünü ciddi oranda düşürmektedir. Zencefil özellikle antioksidan, antienflamatuar ve tümör hücrelerinin çoğalmasını önleyici etkisi ile antikanserojenik etki göstermesi anlamında umut verici nutrasötik bitkisel bir kaynaktır. Son yıllarda özellikle deri, prostat, kolon, pankreas gibi kanser türlerinin tedavisinde zencefil uygulaması üzerinde çalışılmış ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir (Srinivasan, 2017).

2.1.5.11 Kalp damar sağlığına zencefilin etkisi

Kardiyovasküler hastalıklar hayati önem arz eden rahatsızlıklardır ve genellikle hipertansiyon, inme, koroner kalp hastalığı ve kandaki lipit düzeyinin yükselmesi gibi hastalıklarla beraber ortaya çıkabilmektedir. Bir dizi çalışma zencefilin kan lipit seviyesini ve kan basıncını düşürücü etki gösterdiğini ortaya koymuştur. Zencefil ekstraktı yüksek yağlı bir diyetle beslenen sıçanların vücut ağırlığını azaltmış aynı zamanda koroner kalp hastalığına karşı koruyucu bir faktör olan serum HDL-C seviyesini arttırmıştır (Mao ve Xu, 2019). Zencefilin obezite ve kardiyovasküler hastalıklara karşı önleyici potansiyeli üzerine yapılan bir başka çalışmada, diyetle verilen zencefil ekstraktının tip 1 kas liflerinin sayısını arttırdığı, diyetle bağlı obeziteyi azalttığı ve gelişmiş peroksizom proliferatör aktive reseptör δ sinyalleme yoluyla yağ kullanımını uyararak dayanıklılık kapasitesini arttırdığı gösterilmiştir. Ek olarak zencefil ekstraktının kolinerjik ve kalsiyum kanal bloke edici özelliklere atfedilen bir vazodilatör görevi görmek sureti ile kan basıncını düşürdüğü de elde edilen sonuçlar arasında yer almaktadır (Vasconcelos, 2019).

2.2 Keten Tohumu ve Yağı

Keten (*Linum usitatissimum* L.), 13 cinsi ve 300 kadar türü bulunan *Linaceae* familyasına ait bir bitki türüdür. *Linum* cinsinin dünyada 100, ülkemizde ise 38 kadar türü bulunmaktadır (Koçak, 2011). Keten bitkisi *Linum usitatissimum*, fizyolojik olarak 30-100 cm boylarında, mavi çiçekleri olan çok yıllık bir bitkidir (Şekil 2.7). Yağ elde edilen ve gıda olarak tüketilen kısımları tohumlarıdır. Tohumlar 4-6 mm uzunlukta, parlak, kahverengi kabuklu, yassı ve yağlıdır. Keten bitkisinin MÖ 8000’li yıllarda Mezopotamya’da yabani olarak doğada yetiştiğı, MÖ 7000’li yıllarda ise insanlar tarafından kültür bitkisi olarak yetiştirilmeye başlandığı bilinmektedir (Tontul, 2011).



Şekil 2.7: Keten bitkisi

Keten tohumu %55 embriyo, %36 kabuk ile endosperm ve %4 embriyo kutbundan oluşmaktadır (Şekil 2.8). Keten tohumu yüksek miktarda, %40 yağ, %20-35 oranında diyet lifi, %20-30 oranında protein içermektedir (Celus ve diğ., 2018). Keten tohumu yağı ise %73 çoklu doymamış yağ asitleri, %18 tekli doymamış yağ asitleri, %9 doymuş yağ asitlerinden meydana gelmektedir (Tontul, 2011). Keten tohumu yağ asitlerinin oranı; %50 linolenik asit, %20 oleik asit, %15 linoleik asit, %5-6 palmitik asit ve %5 stearik asittir (Yılmaz ve Uzun, 2019). Keten tohumu yağı ayrıca biyoaktif fonksiyonları olan tokoferoller, steroller, karotenoidler ve fenolik maddeler içermektedir (Celus ve diğ., 2018). Keten tohumunda bulunan çoklu doymamış yağ asitleri kökeni ve temin edilişi bakımından hayvansal kaynaklara göre daha kolay ve sürdürülebilirdir (Lamothe ve diğ., 2020).



Şekil 2.8: Keten tohumu hasat öncesi ve sonrası

Keten tohumu (*Linum usitatissimum*) yağı ticari değeri olan kıymetli bir yağdır. Yapısında yüksek oranda biyoaktif özellikleri olan doymamış yağ asitleri %75 oranında bulunmaktadır. Bu yağ asitlerinin %50-60'lık kısmını α -linolenik asit (ALA, C18:3) oluşturmaktadır (Çizelge 2.2). ALA hem omega 3 yağ asidi grubunda yer alması hem de vücutta sentezlenemeyen esansiyel bir yağ asidi olması yönüyle insan beslenmesinde önemli bir yeri olan yağ asitlerindendir. ALA oksijene karşı dayanıksızdır ve okside olma eğilimindedir. Bu durum ALA bakımından zengin besinlerin diyetlere dâhil edilmesi, depolanması, işlenmesi gibi aşamalarda oksijenden dolayısıyla da oksidasyondan muhafaza edilmesini gerekli kılmaktadır (Çevik ve diğ., 2021). Keten tohumu bünyesinde bulundurduğu α -linolenik asit ve çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) sebebiyle fonksiyonel gıda tasarlanmasında, üretiminde rağbet gören bitkisel bir kaynaktır (Henrique ve diğ., 2020).

Gıda ürünlerinin omega 3 (ω -3) yağ asitleri bakımından zenginleştirilmesi işlemi oldukça yaygındır. Bu amaçla özellikle yüksek miktarda omega-3, α -linoleik asit bulunduran keten tohumu yağı (ALA C18:3, %50-60) kullanılmaktadır. Ayrıca keten tohumu yağı doymuş yağ asitlerini (SAFA %9-11) düşük miktarda içerdiği için kalp damar sağlığının korunması yönüyle de tercih sebebidir (Celus ve diğ., 2018). Keten tohumu da biyoaktif yönden zengin bir kaynak olması itibari ile gıda endüstrisinde ekmek yapımında, salata soslarında, kahvaltılık gevrek, protein tozlarında, kek yapımında ve gıda takviyesi olarak kullanılmaktadır (Yılmaz ve Uzun, 2019).

Keten tohumu yağı, genellikle keten tohumundan solvent ekstraksiyon ya da mekanik pres ile soğuk sıkım ile elde edilmektedir. Soğuk pres yöntemiyle yağ elde etmenin diğer yöntemlere göre birtakım avantajları vardır. Bunlar kimyasal madde yokluğu, yağı daha saf elde etme imkânı, tüketici ve çevre için güvenli, basit ve ekonomik olmasıdır. Ayrıca ALA'nın ısıya karşı oldukça hassas olması sebebiyle keten tohumu yağının herhangi bir ön işleme tabi tutulmadan elde edilmesi yağın yapısındaki biyoaktif maddelerin okside olmadan gıdalara ilave edilmesine imkân vermektedir (Celus ve diğ., 2018). Soğuk presle elde edilmiş keten tohumu yağı çoklu doymamış yağ asitleri bakımından zengin olduğu için yemeklik kullanım için önerilmemekle beraber yüksek oranda ω -3 yağ asidi, düşük oranda ω -6 yağ asidi bulundurduğu için insan diyetine uygun yapıdadır. Diyetle keten tohumu yağına yer verilmesi diyetteki ω -6/ ω -3 oranını düşürmesi yönüyle oldukça önemlidir (Tontul, 2011). Bununla birlikte ısıya, ışığa, neme ve oksijene maruz kaldığında yapısındaki biyoaktif bileşenler hızla bozularak nutrasötik etkilerini yitirmekte aynı zamanda bulundukları gıdada is-

tenmeyen tat değişikliğine sebep olmaktadır. Ayrıca biyoaktif bileşiklerin bozulma reaksiyonları sonucunda toksik etkili bazı bileşenler ortaya çıkabilmektedir (Stefani ve diğ., 2019). Keten tohumu yağı lipofilik yapıdadır ve buna bağlı olarak sulu fazda çözünürlüğü düşüktür. Sulu fazda çözünürlüğünün düşük olması gıda sistemlerine uygulamalarını zorlaştırmaktadır ayrıca düşük çözünürlükleri biyoyararlılıklarını da olumsuz etkilemektedir. Emülsiyonlar nano yapılı lipit taşıyıcıları, lipozom, miseller, katı lipit nanopartikülleri suda çözünürlükleri düşük maddelerin stabilitelelerini, suda çözünürlükleri ve biyoyararlılıklarını arttırmak için kullanılmaktadır (Huang ve diğ., 2018).

Keten tohumu yağının bilinen oldukça fazla yararı olmakla birlikte çoklu doymamış yağ asitleri bakımından zengin olması sebebiyle kolay okside olması, değişen ortam koşullarına fazla duyarlı olması problem teşkil etmektedir. Çoklu doymamış yağ asitlerince zengin gıdalarda, oksijen varlığında doymamış asitleri hızla okside olarak gıdada istenmeyen tat ve koku oluşmasına neden olmaktadır. Okside olmuş lipitler, yağ asitleri istenmeyen tat ve kokunun dışında sindirim sırasında ise gastrointestinal sistemde toksik etki oluşturmaktadır. Bu etki 4-6 malonaldehit (MDA), 4- hidroksiheksanal (4-HHE) ve 4-hidroksinonenal(4-HNE) içeren reaktif oksidasyon ürünlerinin sindirim sırasında bağırsak ve kan dolaşımına yayılması ile olmaktadır. Toksisite durumu ise bu bileşiklerin proteinler, hücre zarları ve DNA ile reaksiyona girerek hücre yapısını ve işlevini değiştirmesi ile oluşmaktadır (Lamothe ve diğ., 2020).

Yapılan yeni çalışmalar, gelişen teknoloji ve yeni yöntemler ile mikro enkapsülasyon teknolojisi gibi uygulamalarla keten tohumu yapısındaki esansiyel yağların işleme ve depolama sırasında olumsuz çevre koşullarına karşı koruma imkânı vermektedir (Henrique et al., 2020). Keten tohumu günümüzde sağlığa yararlı etkileri, biyoaktif özellikleri nedeniyle gıda endüstrisinde oldukça geniş kullanım alanı bulmaktadır. Özellikle kahvaltılık ürünler, diyet gıdalar, krakerler, içecekler, bisküvilerde kullanılmaktadır (Yılmaz ve Uzun, 2019).

Çizelge 2.2: Omega-3 Yağ Asitlerinin Kaynakları (Çelebi ve Kaya, 2017)

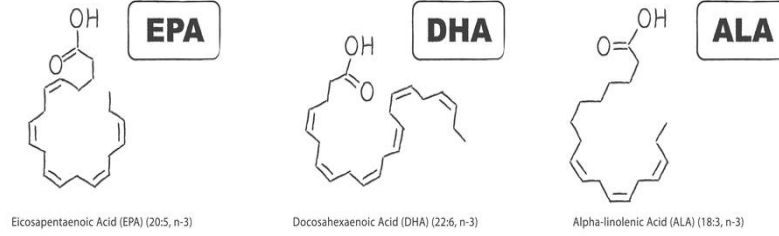
Yağ Asidinin Kaynağı	1 gr EPA+DHA Gerekli Miktar	Esansiyel Yağ Asidi
Taze Tuna Balığı	66-357 gr	DHA, EPA
Konserve Tuna	323 gr	DHA, EPA
Pasifik Somon	42.5-70.9 gr	DHA, EPA
Sardalya	50-87 gr	DHA, EPA
Alabalık	87 gr	DHA, EPA
Uskumru	54-250 gr	DHA, EPA
Marina Balığı	323 gr	DHA, EPA
Mezgit	417 gr	DHA, EPA
Pisi Balığı	8-213 gr	DHA, EPA
Keten Tohumu	2.2 gr/ 5 ml	ALA
Keten Tohumu Yağı	8.5 gr/ 5 ml	ALA
Kenevir Yağı	3.1 gr/ 5 ml	ALA
Kanola Yağı	1.3 gr/ 5 ml	ALA
Soya Yağı	0.9 gr/ 5 ml	ALA
Ceviz ve Çam Fıstığı Yağı	0.7 gr/5 ml	ALA

2.2.1 Çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA)

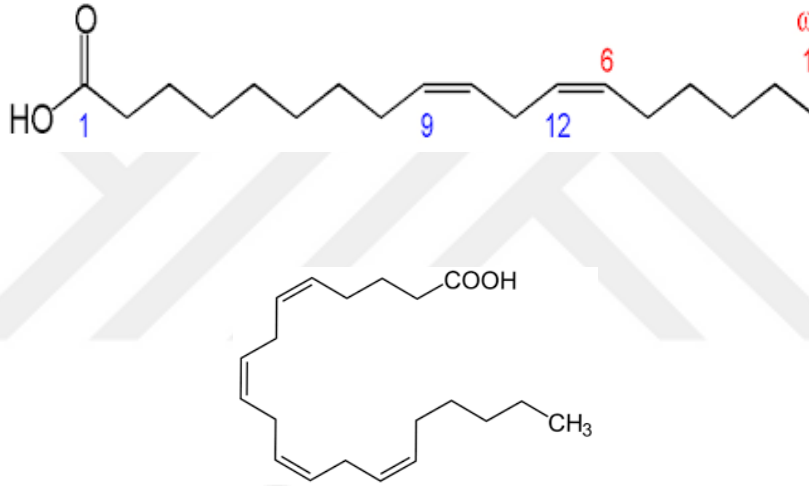
Yapısında birden çok çift bağ bulunduran yağ asitlerine çoklu doymamış yağ asitleri (polyunsaturated, PUFA) denilmektedir. Bu yağ asitleri şunlardır (Çakmakçı ve Tahmas-Kahyao, 2012).

- Linoleik asit (LA) [C18:2 (omega-6) 18 C 2 çift bağlı] (Şekil 2.10),
- α -linolenik asit (α -LN) [C18:3 (omega-3) 18 C atomlu ve 3 çift bağlı] (Şekil 2.9),
- Arasidonik asit 20 (AA) (C20:4 (omega-6) 20 C atomlu ve 4 çift bağlı) (Şekil 2.10),
- Eikosapentaenoik asit (EPA; C20:5 (omega-3) 20 C atomlu ve 5 çift bağlı) (Şekil 2.9),

- Dokosahekzaenoik asit (DHA; C22:6 (omega-3) 22 C atomlu ve 6 çift bağı) (Şekil 2.9) (Çakmakçı ve Tahmas-Kahyao, 2012),



Şekil 2.9: Omega 3 yağ asitleri



Şekil 2.10: Omega 6 yağ asitleri

PUFA ve özellikle omega-3 yağ asitleri kardiyovasküler hastalıklar, kanser, inflamatuvar hastalık riskini azaltmada oldukça efektifdir (Celus ve diğ., 2018). Ancak çoklu doymamış yağ asitleri lipid oksidasyonuna karşı yüksek hassasiyete sahiptir. Bu yağların yapılarındaki doymamışlık sebebiyle oksijen ile temasa geçtikleri anda hızla bozulması sağlığa etkilerinin yanı sıra gıdaların raf ömrünü ve kalitesini de olumsuz yönde etkilemektedir. Bir diğer olumsuz etki ise oksidasyon basamakları sonucu ortaya çıkan oksidasyon ürünlerinin sitotoksik ve genotoksik etkide olmasıdır (Celus ve diğ., 2018).

Son yıllarda EPA ve DHA gibi uzun zincirli yağ asitleri içeren omega -3 bakımından zengin yağların tüketimine yönelik artan bir trend vardır. Bu tip yağ asitleri beyin gelişimi, kalp damar sağlığını olumlu etkileyici fonksiyonları, anti-enflamatuvar etkileri sebebiyle de

rağbet görmektedir. Uzun zincirli yağ asitleri sağlığa olumlu etkilerinin yanı sıra suda düşük çözünürlüğe sahiptir. Bu durum gıda maddelerinin büyük oranda suyun çözücü olarak bulunduğu formda olduğunu göz önünde bulundurursak önemli bir sorun haline gelmektedir (Uluata ve diğ., 2021).

Omega-3 yağ asitleri, dokosaheksanoik asit (DHA) ve eikosapentaenoik asit (EPA) özellikle beyin gelişimini destekleyici, kardiyovasküler hastalıkların ve inflamasyonun önleyici etkileri nedeniyle oldukça önemlidir. Doğal olarak balık, yosun, keten tohumu yağı, ceviz omega-3 yağ asitleri bakımından zengindir. Ancak insan diyeti için belirlenen yararlı dozu alanların sayısı oldukça azdır. Bu durum omega-3 ile zenginleştirilmiş gıdalara ihtiyaç duyulmasına neden olmaktadır. Dünyada gıda trendi fonksiyonel gıdalara doğru eğilim göstermektedir. Bununla birlikte omega-3 yağ asidi kaynakları oldukça hidrofobiktir ve suda çözünürlükleri düşüktür. Bu durum gıda formülasyonları tasarımında sulu faz ile birleşmelerini zorlaştırmaktadır. Nihayetinde bu sağlığa oldukça yararlı yağ asitlerini kullanmak ve fonksiyonel gıdalar tasarlamak için sulu faz ile hidrofobik olan yağ asitlerini bir arada stabil şekilde bulundurmaya sağlamak amacıyla emülsifiye edici ajan kullanılması ile elde edilen dağıtıcı sistemler yani emülsiyonlar kullanılmaktadır (Uluata ve diğ., 2015).

DHA ve EPA gibi yağ asitleri diyetimizde bulunması elzem olan yağlardır ve biyoaktif yönden zengindirler. Son yıllarda özellikle anti-inflamatuar ajan olması ve kardiyovasküler hastalık riskini azaltma gibi potansiyel sağlık yararları nedeniyle bu yağ asitlerine ilgi günden güne artış göstermektedir (Stefani ve diğ., 2019). Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO,2010) damar sağlığı için insanlara 250 mg/gün EPA ve DHA alımını önermektedir. Günümüzde insan diyetlerinin çoğu deniz ürünleri bakımından fakir olması nedeniyle günlük alınan EPA ve DHA miktarı önerilen miktarın altındadır. Deniz ürünlerinin herkes tarafından sevilmiyor oluşu ve temini konusundaki sıkıntılar nedeniyle bitkisel kaynaklardan elde edilen PUFA 'lar diyetteki eksikliğin giderilmesi için umut verici alternatiflerdir (Stefani ve diğ., 2019).

Omega-3 yağ asitlerinin inflammatuar ve kardiyovasküler hastalıklar başta olmak üzere pek çok hastalığın önlenmesi ve sağlığın korunmasında önemli etkilerinin olduğu son yıllarda yapılan çalışmalarla desteklenmektedir (Michotte ve diğ., 2011). Bu sebeple oldukça yararlı olan çoklu doymamış yağ asitleri bakımından zengin bu yağların insan diyetine alınmadan önce mümkün olduğu en iyi şekilde muhafaza edilmesi, oksidasyonu engelleyici ya da geciktirici doğal ajanlar kullanılması, gıda bilimi ve teknolojisinin gündeminde yer

alan ve önem arz eden bir konudur. Sağlığa yararlarının yanı sıra özellikle omega 3 yağ asitleri oksijen ile temas ettiklerinde hızla hidroperoksitlere ve sonraki bozulma ürünlerine dönüşmektedir. Bu oksidasyon ürünlerinin vücuda alınmasıyla vücutta birçok hastalığın kaynağı olarak görülen radikal oksijen türlerinin konsantrasyonu artmaktadır (Michotte ve diğ., 2011).

Çoklu doymamış yağ asitlerinin yapısındaki çift bağlar sebebiyle oksidasyona duyarlılığı yüksektir bu durum gıdalara dâhil edilmeleri ve farklı yöntemlerle işlenmelerini zorlaştırmaktadır. Sağlığa bilinen oldukça fazla yararları olan bu bileşiklerin insan diyetine dâhil edilmeleri oldukça önem arz etmektedir (McClements ve Decker, 2000). Suda çözünürlüğün yanında çoklu doymamış yağ asitlerinin okside olması gıda endüstrisi için sorun teşkil etmektedir. Oksidasyon reaksiyonları yararları olan yağ asitlerini toksik bileşiklere dönüştürerek faydalı olmaktan ziyade zararlı hale getirmektedir. Bununla beraber oksidasyon reaksiyonları boyunca oluşan birincil, ikincil oksidasyon ürünleri tat ve kokuda istenmeyen, olumsuz değişikliklere yol açmaktadır. Bu nedenle gıda endüstrisinde özellikle oksidasyonu engelleme ve gıda maddelerinin güvenli şekilde muhafaza edilmesi adına her geçen gün yeni yöntemler geliştirilmektedir. (Uluata ve diğ., 2021) Emülsiyon ve nanoemülsiyon sistemleri omega-3 yağlarının suda düşük çözünürlüklerine iyi bir çözüm alternatifi olmaktadır. Emülsiyon sistemleri omega 3 ile zenginleştirilmiş gıda tasarımlarında kolaylık ve ürün formülasyonlarında çeşitlilik imkanı tanımaktadır (Uluata ve diğ., 2021).

İnsan vücudunda sentezlenemeyen ve bu sebeple mutlaka dışardan besinler ile alınması gereken yağ asitlerine esansiyel (elzem) yağ asitleri denilmektedir. Bu yağ asitleri 18 karbonlu, 3 çift bağ içeren α -linolenik asit (ALA, 18:3) ve 18 karbon 2 çift bağ içeren linoleik asittir. Linoleik asit ayçiçeği, mısır gibi yağlı tohumlarda bulunurken α -linolenik asit keten, kanola, ceviz ve su ürünlerinde bolca bulunmaktadır. (Çelebi ve Kaya, 2017) Memelilerde omega-1 metil grubu ile omega-7 metil grubu karbon atomları arasında çift bağ oluşturan enzim bulunmadığı için n-3 ve n-6 serisi doymamış yağ asitlerini sentezleyemezler. Diyetle LA ve ALA'nın alınması ile linoleik asitten elengasyon (karbon zincirlerinin uzatılması olayı) ve desatürasyon (çift bağ oluşumu) mekanizmaları sonucu araşidonik asit (20:4 n-6) α -linolenik asitten ise eikosapentaenoik asit (EPA, 20:5 n-3), dokosapentaenoik asit (22:5 n-3) ve dokosaheksaenoik asit (DHA, 22:6 n-3) gibi yağ asitleri oluşmaktadır (Çelebi ve Kaya, 2017). Esansiyel yağ asitlerinden sentezlenen bu n-3 ve n-6 serisi uzun zincirli yağ asitleri insan vücudunda prostoglandinlerin oluşumunda görev almaktadır. Prostoglandinler hormon

benzeri maddelerdir ve insan vücudunda iltihaplanma, ağrı, ödem, tansiyon, sindirim sistemi, alerjik reaksiyonlar ve hormonal bazı olaylarda rol oynamaktadır (Çelebi ve Kaya, 2017).

2.2.2 Keten tohumunun sağlığa etkileri

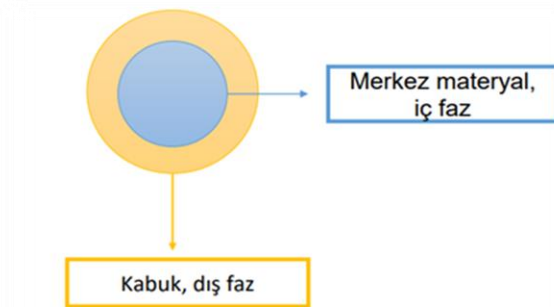
Keten tohumu özellikle son yıllarda insan diyetinde önemli yer tutan fonksiyonel özellikleri ile dikkat çeken bitkisel bir kaynaktır. Keten tohumu (*Linum usitatissimum*) yağı çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) yönünden oldukça zengindir. Bununla birlikte insan diyeti için elzem bir yağ asiti olan α -linolenik asiti %50 oranında içermektedir. Elzem yağ asitleri insan beslenmesi için olmazsa olmazdır ve eksikliğinde hastalıklar, metabolik bozukluklar ortaya çıkmaktadır (Michotte ve diğ., 2011). Keten tohumu yağı omega-3 ve omega-6 yağ asitlerince zengin bir kaynaktır. Omega 3 yağ asidi (ALA) sağlığa yararlı etkileri sebebiyle tüketimi önerilen bir yağ asididir. Özellikle kalp damar hastalıklarını azaltması, kanın pıhtılaşmasını önleyerek kalp krizine sebebiyet veren damar tıkanıklığının önüne geçmesi nedeniyle tüketimi önerilmektedir. Günlük diyetle alınan ALA'nın koroner kalp hastalığı riskini %40-50 oranında azalttığı belirlenmiştir (Koçak, 2011). Ayrıca Omega 3 yağ asidi tüketiminin insan sağlığı açısından elzem olduğu ve vücutta toplam kolesterol, LDL (kötü kolesterol), trigliserid seviyesini düşürürken HDL (iyi kolesterol) seviyesini artırdığı bilinmektedir (Çevik ve diğ., 2021). Çoklu doymamış yağ asitleri, omega-3 yağ asitleri tüketimi kardiyovasküler hastalıklar, diyabet, meme ve kolon kanserinin önlenmesinde, beyin sağlığının korunmasında ve genel olarak sağlığın olumlu yönde desteklenmesinde etkili olmaktadır. Buna karşın insan diyetiyle alınan miktar tavsiye edilen miktarın oldukça altında kalmaktadır. Bu sebeple yiyecek ve içeceklerin çoklu doymamış yağ asitleri, omega-3 yağ asitleri bakımından zenginleştirilmesi önem arz etmektedir (Lamothe ve diğ., 2020). Keten tohumunun kardiyovasküler hastalıklar, meme ve prostat kanserlerinin önlenmesinde olumlu etkileri olduğuna dair bilimsel raporlar bulunmaktadır (Henrique ve diğ., 2020). Keten tohumu yağı beyin fonksiyonlarını düzenleme, kardiyovasküler sağlığın korunması, inflamatuvar hastalıkların önlenmesi gibi pek çok olumlu etkiye sahiptir (Huang ve diğ., 2018).

2.3 Enkapsülasyon

Enkapsülasyon bir maddenin bir ya da daha fazla kaplama materyali içine hapsedilmesine imkan tanıyan nispeten yeni bir teknolojidir. Enkapsülasyon teknolojisi günümüzde gıda, kimya, biyoteknoloji, ziraat, farmakoloji, kozmetik gibi alanlarda kullanılmaktadır (Koç ve diğ., 2010) Enkapsülasyon gıda bileşenlerinin korunması, daha stabil bir yapı kazandırılması, kontrollü salınımı gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Gıda endüstrisinde özellikle son yıllarda kolay bozunan enzim, vitamin, biyoaktif maddeler enkapsüle edilmektedir. Enkapsülasyon teknolojisinde iki faz bulunmaktadır (Şekil 2.11). Kaplanan kısım iç faz, öz(core), dolgu gibi isimlerle anılırken kaplama materyali dış faz, kabuk, kaplama materyali, membran gibi isimlerle anılmaktadır (Gökmen ve diğ., 2012). Enkapsülasyon çabuk bozulan hassas gıdaları korumak, aroma kayıplarını önlemek, kontrollü salınım sağlamak amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Bu teknoloji ile;

- ✓ Kaplanan madde çevresel etkilerden (ısı, ışık, oksijen, nem vb.) korunmaktadır,
- ✓ Uçucu maddelere daha stabil yapı kazandırılmaktadır,
- ✓ Kaplanan maddenin istenen bölgede kontrollü salınımı sağlanmaktadır,
- ✓ Kaplanan iç fazın tat ve kokusunun maskelenmesi sağlanabilmektedir,
- ✓ Kaplanan materyalin diğer bileşenler ile etkileşime girmesi önlenmektedir (Torun, 2019).

Kullanılacak kaplama materyali iç fazın özelliğine, elde etmek istenen ürüne, kaplanan aktif maddelerin özelliklerine kullanılacak yöntemle ilgili olarak deneme yanılma yöntemleri ile belirlenmektedir (Gökmen ve diğ., 2012).



Şekil 2.11: Enkapsülasyon işleminde iç ve dış fazın şematik gösterimi

Enkapsülasyonda kullanılacak kaplama materyalinde bulunması gereken bazı nitelikler;

- ✓ Kolay işlenebilir, yüksek derişimlerde bile reolojik özellikleri iyi özellikte olmalı,
- ✓ Emülsiyon ve dispersiyon özellikleri olmalı ve emülsiyon stabilitesi yüksek olmalı,
- ✓ Depolama süresince kaplanan çekirdek materyal ile etkileşimde bulunmamalı ve çekirdek materyalin yapısını değiştirmemeli,
- ✓ Kaplama işleminden sonra stabil olmalı ve depolama boyunca kapsül yapıyı koruyabilmeli,
- ✓ Kontrollü salınım hedefine bağlı olarak hedef doku ya da organda aktif bileşenin salınımını sağlamalıdır (Koç ve diğ., 2010).

Kaplama materyali olarak karbonhidratlar, gamlar, proteinler, selülozlar, lipitler, peynir altı suyu proteini, maltodekstrin, jelatin, inorganik maddeler vb kullanılmaktadır (Şanlıdere Aloğlu ve diğ., 2010) Enkapsüle etme işlemi birden fazla yöntemle yapılabilir. Bu yöntemlerden bazıları şunlardır (Gökmen ve diğ., 2012).

- ✓ Dondurarak kurutma
- ✓ Püskürterek kurutma
- ✓ Emülsiyon oluşturma
- ✓ Kokristalizasyon
- ✓ Ekstrüzyon
- ✓ Lipozomlar
- ✓ Koaservasyon

2.4 Nanoteknoloji ve Nanoemülsiyonlar

Nanoteknoloji 100 nanometreden küçük tanecik boyutunda ya da moleküler seviyede gerçekleşen olayların kontrolünü, gerçekleşmesini kapsayan bilim ve teknoloji alanıdır. Nano kelimesi köken olarak Yunancadır ve ‘cüce, bodur’ anlamına gelmektedir. Nanoteknoloji bilimi; atomik, moleküler ya da kolloidal düzeyde doğal ya da sentetik malzemelerin

retimi, karakterize edilmesi ve hedeflenen forma manipüle edilmesi ile ilgilenmektedir. Nanoteknoloji gıda sistemlerini pek çok farklı yönden etkileyen aynı zamanda yönlendirebilecek potansiyele sahiptir. Ayrıca gıda endüstrisinde pahalı ve nispeten yeni bir çalışma alanı olması sebebiyle çok yaygın değilken gıda bilimi ve teknolojisinde oldukça ilgi gören ve araştırma yapılan bir alandır. Gıda bilimi ve teknolojisi açısından özellikle gıda güvenliği, paketleme sistemleri, patojen tespitinde yeni materyallerin kullanılması, dağıtım ve taşıma sistemlerinin oluşturulması gibi konularda kullanılmaktadır (Var, 2015).

Nanoteknoloji gıda sanayisinde, gıdaların tekstür ve aromalarının korunmasında, kolay bozulabilen biyoaktif bileşenlerce zengin gıdaların muhafazasında kullanılmaktadır. Nano parçacıklar kullanılarak antimikrobiyal ambalajlar, yenilebilir film kaplamalar üretilmekte, aynı zamanda raf ömrü uzatılarak daha uzun süre saklanabilen gıdalar tasarlanabilmektedir. Ayrıca akıllı etiketler, biyosensörler ve nano sensörler kullanılarak gıdalarda bozulma belirtileri erken dönemde tespit edilebilmektedir. Biyoaktif maddelerin taşınması ve kontrollü salınımını sağlamak amacıyla genellikle enkapsülasyon yöntemleri ve nano boyutta üretilen kapsüller kullanılmaktadır. Nano boyuttaki bu kapsüller vitamin, uçucu yağ, antioksidan ve antimikrobiyal ajanların biyoyararlılığını arttırmakta ve hedef dokuya ulaşıncaya kadar korunması sağlanmaktadır. Bunu dışında gıdalarda bulunan istenmeyen tat ve kokuyu maskeleye yönüyle de oldukça kullanışlı bir yöntemdir (Baysal, 2020). Bu amaçla tasarlanan emülsiyon sistemlerindeki partikül boyutu çok küçük olduğundan kremalaşma, faz ayrımı diğer yöntemlere göre çok daha geç meydana gelmektedir. Nanoemülsiyonlar ile gıdaların fiziksel özellikleri iyileştiği gibi yağda çözünen gıda bileşenlerinin sindirimi de kolaylaşmaktadır (Baysal, 2020).

Nanoteknoloji gıda ve tarım sistemlerini birden fazla yönden etkileme potansiyeline sahiptir. Gıda güvenliği, moleküler biyoloji için yeni araçlar, patojen tespiti için yeni malzemeler ve çevrenin korunması gibi konular nanoteknolojinin çalışıldığı önemli örneklerdir (VAR, 2015). Özellikle vücut fonksiyonlarını düzenleme ve besinlerin daha efektif kullanılmasını sağlayan fonksiyonel gıda tasarlanmasında nanoteknoloji kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra gıda formülasyonlarını zenginleştirmek amacıyla ilave edilen antioksidanlar, fenolik bileşenler, uçucu bileşenler nanoteknoloji ile daha güvenli muhafaza edilebilmektedir. Nanoemülsiyonlar balık yağı ve lipofilik vitaminlerin gastrointestinal sistemde daha etkili emilerek biyoaktivitelerini arttırmalarını sağlayıcı taşıyıcı sistemlerdir. (Var, 2015)

Gıdalarda nanoteknoloji uygulamalarının önemli başlangıç noktası nano yapıda gıda

bileşenleri, besin öğelerinin ve desteklerinin depolama ve işleme boyunca istenmeyen dış etkileşimlerden korunması ve çeşitli salınım sistemlerinin tasarlanmasına imkan verebilmesidir (İlyasoğlu, 2010).

Nanoteknoloji ile gıda endüstrisinde;

- Gıdalarda bulunan patojen mikroorganizmaların tespiti,
- Gıda güvenilirliğinin artırılması,
- Antibakteriyel ambalaj sistemlerinin geliştirilmesi,
- Biyoaktif maddelerin taşınması ve kontrollü salınımı,
- Fonksiyonel gıda ürünleri tasarlamada kullanılmaktadır.

Gıda endüstrisinde nanoteknolojinin çok sayıda potansiyel uygulaması yer almaktadır; ancak bunların büyük bir kısmı ticari olarak maliyetli, endüstriye entegrasyonda zorluk yaratacak kadar pahalı ve pratik olmayan uygulamalardır (Weiss, 2006). Nanoteknoloji ile ilgili bir diğer problem de yeni bir yöntem olması ve nano boyutta tanecik boyutlarının hareketlerinin daha öngörülemez olması açısından yeni riskler barındırmasıdır. İnsan sağlığının korunması, gıda güvenliğinin sağlanması ve olası yan etkilerin tespit edilmesi adına nanoteknolojinin gıdalarda kullanımına ait daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Şekil 2.11) (Var, 2015).

2.4.1 Gıda emülsiyonları

Emülsiyonlar biri diğeri içinde küçük küresel damlacıklar şeklinde dağılmış olan polaritesi farklı iki sıvıdan oluşan heterojen sistemlerdir. Bir emülsiyon üç ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar; damlacıklar yani dispers faz, sürekli faz ve ara yüzey bölgesidir. Ara yüzey esasen yüzey aktif moleküllerden oluşan her bir emülsiyon damlasını çevreleyen dar bir alandır. Ara yüzey özellikleri mevcut moleküllerin türüne ve konsantrasyonları bağlı olarak farklılaşmaktadır. Yüzey aktif maddelerin bir kısmı sürekli faz ve kesikli fazı birbirine bağlayan yüzeyde bulunurken kalan kısmı sulu faz içinde miseller halinde bulunmaktadır (Şekil 2.12) (McClements ve Decker, 2000).

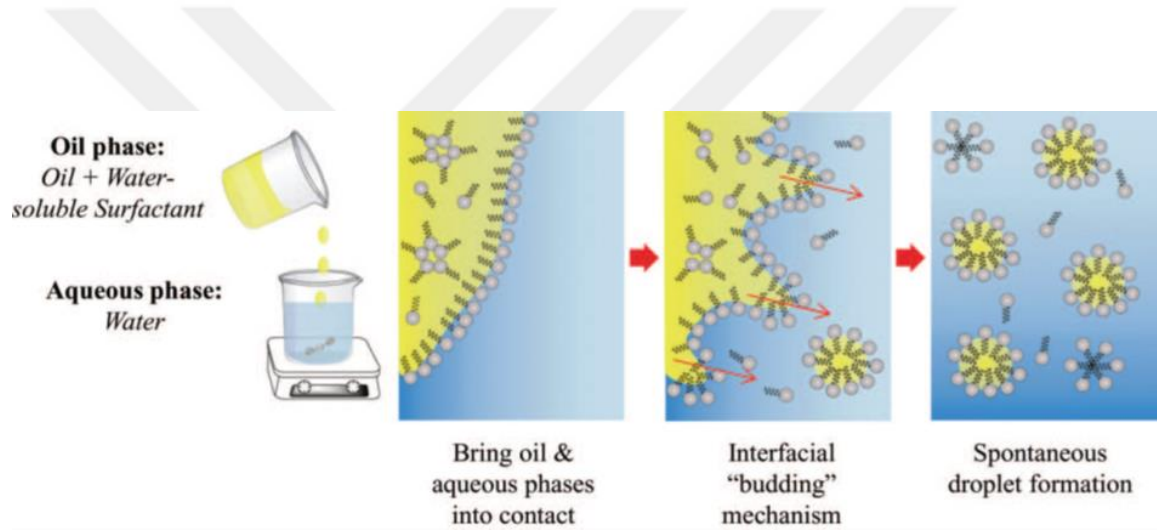
Emülsiyonlar yapılarında bulundurdıkları yağ ve suyun nispi konumuna bağlı olarak kategorize edilmektedir. Sürekli fazın su olduğu ve yağ damlacıklarının su fazı içinde dağıldığı emülsiyonlara su içinde yağ (O/W) emülsiyonları denir. Sürekli fazın yağ olduğu ve su

damlacıklarının yağ fazı içinde dağıldığı sistemlere yağ içinde su (W/O) emülsiyonları denir. Yağ içinde su emülsiyonlarında lipit yüzeyi doğrudan oksijenle temas halinde olduğundan, yağların oksidasyondan korunması amacıyla tasarlandığı sistemler genellikle su içinde yağ fazının dağıldığı emülsiyonlardır (McClements ve Decker, 2000). Tükettiğimiz gıdaların çoğu yağ fazının su fazında dağılmasıyla oluşturulmuş emülsiyon formdadır (Celus ve diğ., 2018).

Genel olarak bir emülsiyon sisteminin dizayn edilmesi için en az üç faza ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar; yağ fazı, su fazı ve sürfaktandır (İlyasoğlu, 2010).

Yağ fazı: Katı ya da sıvı yağlar, mumlar, hidrokarbonlar, yağ asitleri kullanılmaktadır.

Su fazı: Su ve su ile karışabilen hidrofil yapıdaki bileşenlerden oluşur.



Şekil 2.12: Emülsiyonların oluşum mekanizması (McClements ve Rao, 2011)

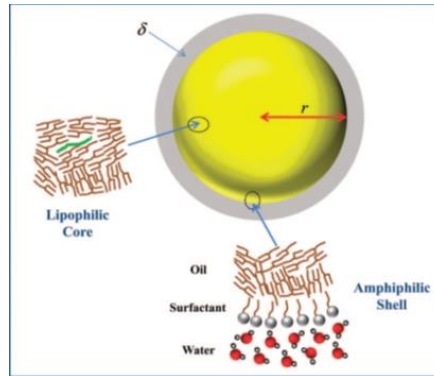
Sürfaktan: Emülsiyonlarda iki fazın molekülleri arasında polarite farkı ile birlikte yüzey gerilimi farkı bulunmaktadır. Sürfaktanlar iki fazın temas halinde olduğu ara yüzeylerdeki gerilimi azaltmak suretiyle iki fazın birbiri içinde dağılmalarını sağlamaktadır. Sürfaktan sürekli fazda çözünmek suretiyle çalışmaktadır. Emülsiyon sistemleri tasarlanırken sürfaktanların polar ve polar olmayan sıvılarda dağılma durumları göz önüne alınmaktadır. Sürfaktanların seçimi emülsiyon bileşenlerinin polaritesine bağlı olarak HLB (hidrofil-lipofil-balans) değerlerine göre yapılmaktadır (İlyasoğlu, 2010).

Emülsiyon sistemlerinde iki farklı polariteye sahip yağ ve su fazları aralarındaki yüzey alanını artırma eğilimi göstermektedir. Bu sebeple emülsiyonlar termodinamik açıdan

kararsız sistemlerdir. Sürekli fazla kesikli fazın ayrılmaması ve nispeten stabil bir yapı kazandırılması amacıyla bu tip sistemlere emülgatörler (sümfaktanlar, yüzey aktif maddeler) dahil edilmektedir. Emülgatörler homojenizasyon esnasında oluşan damlacıkların yüzeyine tutunan aktif maddelerdir. Damlacıkların yüzeyinde ara yüzey gerilimini azaltarak damlacıkların daha kolay parçalanmasını ve iki zıt fazın bir arada kalmasını sağlamak suretiyle çalışırlar. Emülgatörler yapısal olarak hem polar hem de apolar kısımları olan kimyasal bileşiklerdir. Emülgatörler oluşturulurken oluşan arayüzey membranının özellikleri yapısı gereği lipid oksidasyonu üzerinde büyük etkiye sahiptir. Gıda bilimcileri farklı emülsifiye ediciler kullanarak arayüzey özelliklerini manipüle etmekte ve böylece oksidatif stabiliteyi artırmaktadırlar. Gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılan emülsifiye ediciler; amfifilik proteinler, fosfolipitler ve küçük moleküllü yüzey aktif maddelerdir (McClements ve Decker, 2000). Ayrıca emülsifiye edici özellikleri olması sebebiyle peynir altı suyu proteini (WP), soya proteinleri, jelatin, kazein ve yağsız süt tozu (YST) gibi maddeler yağların emülsiyon, enkapsülasyon işlemlerinde kullanılmaktadır (Çevik ve diğ., 2021)

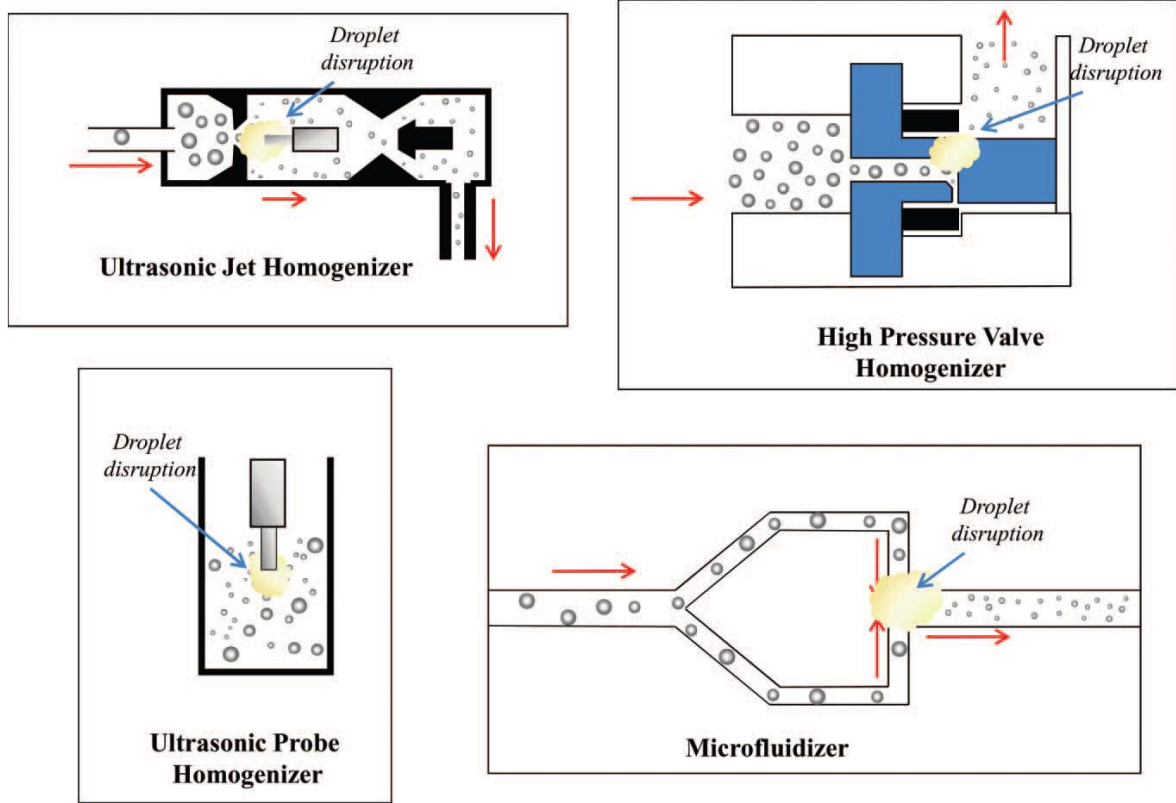
2.4.2 Nanoemülsiyonlar

Nanoemülsiyonlar yağ, su ve emülsifiye edici fazlarının oluşturduğu karışımların yüksek basınçlı homojenatörler gibi cihazlardan geçirilerek elde edilen 100-500 nm arasında tanecik boyutunda emülsiyonlardır (Şekil 2.13). Emülsiyon oluşturmadaki amaçlardan birkaçı fonksiyonel gıda bileşenlerin enkapsüle edilmesi, kontrollü salınım sağlama, biyoaktif bileşenlerin korunması, istenmeyen tat ve kokunun maskelenmesidir (Weiss, 2006).



Şekil 2.13: Bir nanoemülsiyon partikülünün şematik gösterimi (McClements ve Rao, 2011)

Nanoemülsiyonlar birbiri içinde çözünmeyen farklı polaritelere sahip sıvıların fiziksel bir güç ve emülsifiye edici ajan yardımıyla bir arada tutulduğu sistemlerdir. Partikül boyutları 100-500 nm büyüklüğünde olabilmektedir. Nanoemülsiyonlar, mikro emülsiyonlardan farklı fiziksel özelliklere sahiptirler. Bu farklılık kullanımda çeşitlilik imkânı vermektedir (Var, 2015). Nanoemülsiyonların daha küçük partikül boyutunda olmaları geleneksel emülsiyonlara göre daha iyi fiziksel stabiliteye sahip olmalarını sağlamaktadır. Ancak bunun yanında bazı dezavantajlara da sebep olmaktadır. Bunlardan ilki emülsiyonun tanecik boyutunun daha küçük olması kullanılan yağ asitlerinin yani lipit formdaki bileşenlerinde tanecik boyutunun küçüldüğü anlamına gelmektedir. Yağ asitlerinin tanecik boyutunun küçülmesi yağ-su arayüzündeki temas yüzeyini arttırdığından lipid oksidasyonunu da arttırmaktadır. Bir diğeri ise ışık dalgalarının nanoemülsiyonlar yoluyla artan iletimi, ışığa bağlı oksidasyon riskini arttırabilmektedir. Bu iki durum gıda sistemleri için nanoemülsiyon uygulamaları kullanılırken oksidasyonu kontrol etme ve önleyici doğal ajanlar ekleme ihtiyacı doğurmaktadır (Uluata ve diğ. 2015). Nanoenkapsülasyon yağ stabilitesini arttırmakta ve su içeriği yüksek gıdalara dâhil olmasını sağlama imkânı tanıyan bir yöntemdir (Stefani ve diğ., 2019). Nanoemülsiyonlar özellikle fonksiyonel gıdalar üretmek için yağ asitleri, polifenoller, doğal renkler ve tatlar elde etmek için gıda endüstrisinde kullanılan yeni dağıtım sistemleridir. Lipofilik aktif bileşiklerin suda çözünürlüğü zayıftır ve bu nedenle bu bileşikler gıdalara dâhil etmek gıda endüstrisi için problem haline gelmektedir. Nanoemülsiyonları lipofilik bileşenlerin taşındığı sistemler olarak tasarlamak ve kullanmak hem çözünürlük problemini ortadan kaldırmakta hem de vitaminler, karotenoidler gibi lipofilik aktif bileşenlerin biyoyararlılığını arttırmaktadır. Nanoemülsiyonlar kendiliğinden oluşamayan denge dışı sistemlerdir. Normal bulunuşu itibari ile maddeler en düşük enerji seviyesinde olma eğilimindedir. Bu nedenle nanoemülsiyon oluşturmak için mekanik veya kimyasal enerjiye ihtiyaç vardır (Şekil 2.14). Nanoemülsiyonlar genellikle yüksek basınçlı homojenizatörler, yüksek kesmeli karıştırıcılar ve ultrasonik jeneratörler kullanılarak hazırlanmaktadır (Çinar, 2017).

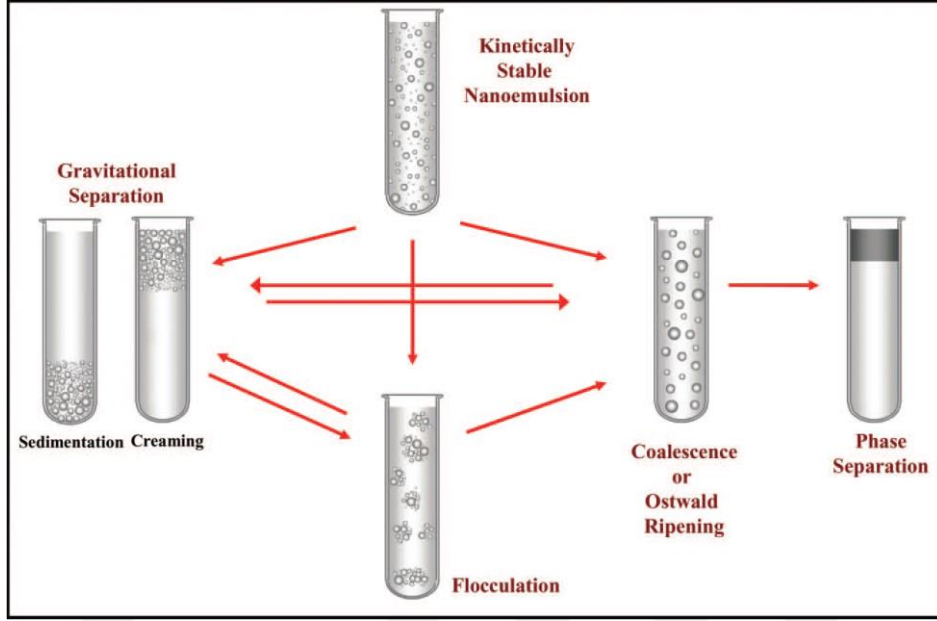


Şekil 2.14: Nanoemülsiyon üretmek için kullanılabilecek çeşitli mekanik cihazların şematik gösterimi (McClements ve Rao, 2011)

2.4.2.1 Nanoemülsiyonların fiziksel ve kimyasal yapısı

Fiziksel yapı ve kararlılık

Nanoemülsiyonlar termodinamik açıdan çok fazla stabil olmayan kararsız sistemlerdir. Dışardan bir müdahale ya da iç dinamiklerdeki küçük bir farklılık emülsiyonların kırılmasına sebep olmaktadır. Bunlar; Ostwald damlacık büyümesi, koalesans, kremalaşma (sedimentasyon), flokülasyon ve faz değişimidir (Şekil 2.15) (İlyasoğlu, 2010).



Şekil 2.15: Nanoemülsiyonlar farklı fiziksel ve kimyasal etkilerle faz ayrımına uğraması (McClements ve Rao, 2011)

Görünüm

Nanoemülsiyonlar, daha büyük partikül boyutunda oluşan mikroemülsiyonlardan farklı özelliklere sahiptirler. Örneğin; mikro emülsiyonlar çoklu saçılma sebep oldukları için beyaz görünürken, nanoemülsiyonlar görünür dalga boylarından daha küçük olduklarından optik olarak transparan görünebilmektedir (İlyasoğlu, 2010).

Kimyasal yapı ve kararlılık

Kimyasal kararlılık bileşenlerin kimyasal olarak stabil kalma durumunu, kimyasal reaksiyona girme eğilimi hakkında fikir vermektedir. Özellikle biyoaktif maddeler oksidasyona ve ışığa karşı oldukça duyarlıdır. Bu durum gıdaların işlenmesi ve depolanması sırasında problemler oluşturmaktadır. Nanoemülsiyonlar oluşturulurken tanecik boyutunun azalması ve yüzey alanının artması sebebiyle oksidasyon hızının artması göz önünde bulundurulması gereken önemli bir konudur (İlyasoğlu, 2010).

2.4.2.2 Lipid oksidasyonu

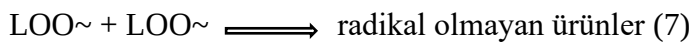
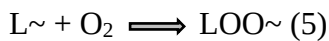
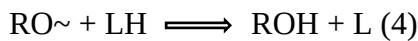
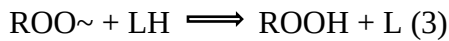
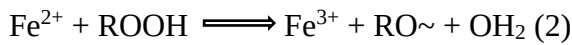
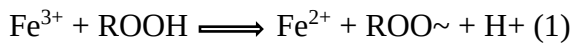
Lipit oksidasyonu; lipitlerin reaktif oksijen türleriyle etkileşiminden kaynaklanan bir dizi kimyasal reaksiyondur. Gıdalardaki lipit oksidasyonu mekanizması ortamda bulunan reaktif türlerin doğasına, fizikokimyasal yapısına bağlı olarak değişmektedir. Lipit oksidasyonu genel olarak üç farklı aşamayla gerçekleşmektedir. Bunlar; başlatma, yayılma ve sonlandırma'dır (McClements ve Decker, 2000).

1.Yağ su emülsiyonları ve sulu kolloidal sistemlerde yapılan çalışmalar; damlacık yüzeyinde bulunan lipit hidroperoksitler ile sulu fazdan kaynaklanan geçiş metalleri arasındaki etkileşimin oksidatif kararsızlığa sebep olduğunu göstermektedir. (1)

2. Geçiş metalleri doymamış lipitlerin alkil radikallerine bağlanarak parçalanabilir. Ancak bu reaksiyon oldukça yavaş gerçekleşmektedir ve lipit oksidasyonunu arttırmada önemli bir etkisi olmadığı düşünülmektedir. Emülsiyonlarda lipit oksidasyonunun hızlanması için en olası mekanizma, lipit hidroperoksitlerin (ROOH) geçiş metalleri tarafından yüksek oranda reaktif peroksil (ROO) ve alkoksil (RO) radikallerine ayrıştırılmasıdır. (2)

3.Oluşan bu radikaller damlacıklar içinde ya da yağ-su ara yüzünde doymamış lipitler ile reaksiyona girer ve lipit radikalleri oluşur, (L ve LOO) (3,5).

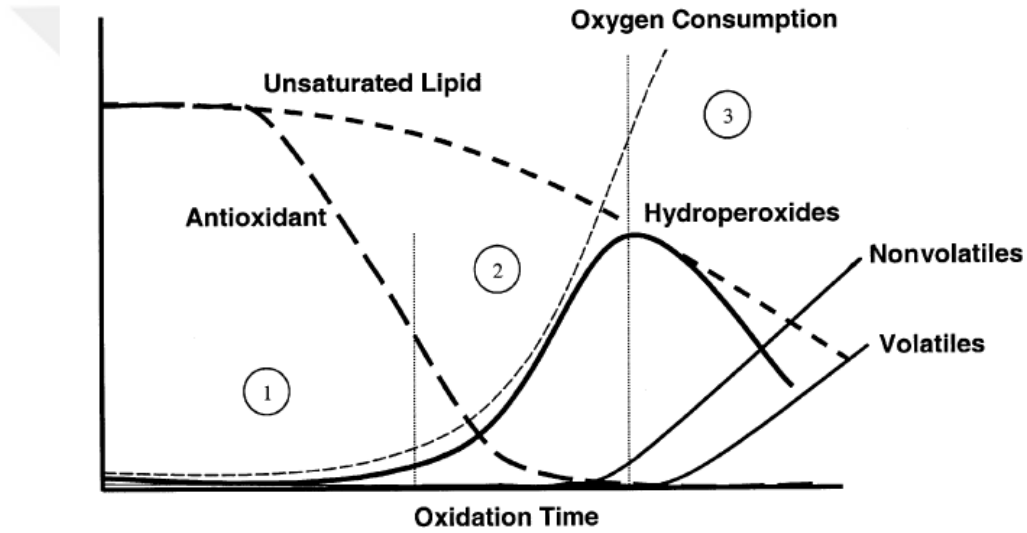
4.Lipit oksidasyon zincir reaksiyonu, bu lipit radikallerinin yakın çevresindeki başka lipitlerle reaksiyona girmesiyle yayılır. (6) Oluşan lipit radikalleri diğer lipit radikalleri ile reaksiyona girmesiyle oksidasyon reaksiyonları durabilmektedir. (7)



Oksidasyon reaksiyonları, aldehit, keton, alkol ve hidrokarbon gibi farklı moleküllerin olduğu reaksiyonlar zinciridir. Hidroperoksitler genellikle yüzey aktiftir ve damlacık

yüzeyinde birikirler. Damlacık yüzeyindeki serbest radikaller damlacık içindeki lipitlerle etkileşime geçerek oksidasyon reaksiyonlarını hızlandırmaktadır. Serbest radikallerin, hidroperoksitlerin ve lipitlerin bir bölgeden diğerine yayılım hızı oksidasyon hızını da belirler. Bu sebeple oksidasyonun kontrol edilmesi ve yavaşlatılması için molekül hareketlerinin ve mekanizmasının bilinmesi önemlidir (McClements ve Decker, 2000).

Yağlar oksijen varlığı ve oda sıcaklığında oksidasyon reaksiyonları sonucu kendiliğinden okside olurlar. Oto-oksidasyon mekanizması üç ana adımdan oluşur: bu aşamalar (1) başlatma, (2) yayma ve (3) sonlandırma aşamalarıdır (Şekil 2.16) (Başaran, 2015).



Şekil 2.16: Yağların Oto-oksidasyonunun kinetik eğrisi (Başaran, 2015)

Lipitlerin oksidasyona duyarlı olması doğal ve işlenmiş pek çok gıdada kalite sorunlarına yol açmaktadır. Lipit oksidasyonu gıdalarda bulunan bileşenlerin türlerini ve konsantrasyonlarını değiştirmektedir. Her molekülün kendine has ve benzersiz fizikokimyasal özellikleri vardır. Bunlar; kimyasal aktivite, boyut, polarite, yüzey aktivitesi, uçuculuk gibi özelliklerdir. Lipit oksidasyonu gıdalarda tat, doku, raf ömrü, görünüm ve beslenme değerleri üzerinde değişikliklere sebep olur ve genellikle besin değeri kayıpları ile sonuçlanır. Oksidasyon reaksiyonları çoğu kez istenmezken bazı gıdaların karakteristik tat ve aromasının ortaya çıkmasını sağladığı için kontrollü olarak belirli oranda olması istenmektedir. Örneğin; bazı peynir türleri olgunlaştırılırken oksidasyon reaksiyonları neticesinde oluşan bileşikler tat ve aromayı oluşturmaktadır (McClements ve Decker, 2000).

2.4.2.3 Emülsiyonlarda lipit oksidasyonunu etkileyen faktörler

Lipitlerin oksidasyona duyarlılığı temelde yapılarındaki çift bağ sayısına ve yerine bağlıdır. Doymuş yağlar oksidasyona karşı dayanıklıdır bu sebeple gıda emülsiyonlarının okside olmasının önüne geçilmesi için yapılabilecek en basit uygulama doymuş yağları kullanmaktır. Ancak doymamış yağların farklı fizikokimyasal özellikleri ve sağlığa bilinen olumlu etkileri sebebiyle kullanımına yönelen bir eğilim vardır. Yağlar için doymamışlık oranı arttıkça oksidasyon oranı artmaktadır. Yapılan bazı çalışmalarda sulu kolloidal dispersiyonlarda dağılmış yağ asitlerinin doymamışlık derecelerinin arttıkça oksidatif stabilitelelerinin de arttığı bulunmuştur. Bu durumun sebebi tam olarak bulunamamış olsa da yağ asitlerinin miseller içindeki moleküler düzeninin farklı olması sebebiyle olduğu düşünülmektedir. Doymamışlık oranı yüksek yağ asitleri için yağ asitlerinin miseller içindeki moleküler düzeninin farklı olmasının da bu duruma sebebiyet verdiği düşünülmektedir. Daha doymamış yağ asitleri için yağ asitlerinin misellerin hidrofobik iç kısmına daha derinden gömülmesi ile mümkündür. Ayrıca lipit moleküllerinin polaritesi, yağ asidinin emülsiyon içindeki konumu ve dolayısıyla oksidasyona duyarlılığını belirlemektedir. Yüzey aktif özellikteki etil linoleat içeren yağ su emülsiyonları ile yapılan deneylerde, lipitlerin oksidasyona damlacık yüzeyinde oldukları durumda, damlacık iç kısmında bulundukları durumdan daha duyarlı olduğu bulunmuştur (McClements ve Decker, 2000).

Oksijen varlığının etkisi

Lipit oksidasyonu temelde doymamış yağlar ile oksijen arasındaki reaksiyonlar zinciridir. Bu sebeple oksijen varlığı doğrudan oksidasyonu başlatan ve devam ettiren faktörlerden biridir. Oksijen gıda yağlarında, sudan yaklaşık üç kat daha fazla çözünmektedir. Yapılan çalışmalarda düşük oksijen konsantrasyonlarında lipit oksidasyonu için hız sınırlayıcı faktörün oksijenin sulu faza difüzyonu olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle gıdaları oksidasyondan korumanın etkili yollarından biri ortamdaki oksijen konsantrasyonunu azaltmaktır. Bu sebeple gıdalar muhafaza edilirken vakum ambalajlama, azot gazı gibi inert gazlar ile paketlenme uygulamaları yapılmaktadır (McClements ve Decker, 2000).

Antioksidanlar

İdeal durumda canlı metabolizmasında serbest radikaller ile antioksidanlar denge halinde bulunmaktadır. Ancak bu denge serbest radikaller lehine bozulduğu takdirde oksidatif stres kaynaklı hastalıklar ortaya çıkabilmektedir. Serbest radikallerin olağandışı artışı sebebiyle canlıda bulunan antioksidanlar yetersiz kalmakta ve canlı dışarıdan bir antioksidan takviyesine ihtiyaç duymaktadır. Antioksidanlar reaktif oksijen türlerinin oluşumunu önlemek, bu maddelerin oluşturduğu hasarları engellemek ve detoksifikasyon sağlamak gibi etkilere sahiptirler (Karabulut ve Gülay, 2016)

Antioksidanlar yapay ya da doğal olabilmektedir. Son yıllarda doğala olan yöneliminde artmasıyla antioksidanların doğal formda olanlarına ilgi artmıştır. Özellikle fenolik bileşikler, fıtik asit, askorbik asit, tokoferol, karotenoidler antioksidan özellikleri ile öne çıkan bileşiklerdir. Bitkisel kaynaklarda bolca bulunmaları, doğal olmaları, toksik etkiye olmamaları gibi avantajları sayesinde geniş kullanım alanı bulmaktadırlar. Serbest radikaller son yörüngelerinde eşleşmemiş elektron içeren atom ya da bileşiklerdir. Lipit peroksidasyonu ise serbest oksijen radikallerin lipitlerle çift bağ yaparak lipit-radikal etkileşimi oluşturması ve bu etkileşim sonucu zincirleme reaksiyonların devam ederek lipit peroksit ürünlerinin ortaya çıkmasıdır. Antioksidanlar dört farklı mekanizma ile etki gösterirler. Bunlar; temizleme (scavenging), baskılama (quencher), onarma ve zincir koparma şeklindedir (Meral ve Doğan, 2012).

Yağlı gıdaları oksidasyondan korumak için yapılan uygulamalardan biri de antioksidan ilave edilmesidir. Antioksidanlar oksidasyon substratlarına bağlanmak, pro-oksidanları kontrol etmek ve serbest radikallerini inaktive etmek gibi farklı yollarla etki göstermektedirler (McClements ve Decker, 2000).

Özellikle emülsiyonlarda tanecik boyutu küçültülerek daha iyi tekstürde stabil fiziksel yapılar oluşturulmaktadır ancak emülsiyonlarda partikül boyutu azaldıkça yağların ortamlarla temas halinde olan yüzey alanı artmaktadır. Bu nedenle partikül boyutu küçük emülsiyonlar için antioksidan ilavesi oldukça önemlidir. Gıdaların oksidatif stabilitesi en az fiziksel stabilitesi kadar önemlidir ayrıca lipitlerin oksidasyon ürünleri gıdada istenmeyen tat bozukluklarına neden olmaktadır (Uluata ve diğ., 2015).

3. KAYNAK ÖZETLERİ

Tam yağlı mayoneze antioksidan olarak yerel zencefil ekstraktı ilavesinin oksidasyona ve fizikokimyasal özelliklere etkisini araştırmak için yapılan bir çalışmada üç farklı zencefil türü kullanılmıştır. Bunlar: Fil zencefili, kırmızı zencefil ve emprit zencefildir. Zencefil ekstraktları % (0.5-1.0-1.5) olmak üzere farklı konsantrasyonlarda ilave edilerek konsantrasyonun etkisi gözlemlenmiştir. Kullanılan zencefil türü ve konsantrasyonu pH üzerine önemli bir değişiklik oluşturmazken antioksidan aktivite, viskozite ve nem içeriği yönünden anlamlı farklılık oluşturmuştur. Çalışma sonucunda kırmızı zencefilin diğer iki zencefilden daha iyi fizikokimyasal özellikler sağladığı ve en iyi niteliğin her 3 emülsiyon grubu için de %1.5 zencefil ekstraktı ile oluşturulmuş gruplar olduğu belirlenmiştir (Safitri ve diğ., 2019).

Yapılan bir çalışmada kurkuminin sodyum kazeinat ve bezelye protein karışımı ile oluşturulmuş nanoemülsiyonlarının fizikokimyasal özellikleri ile biyoyararlanımları sekiz hafta boyunca takip edilmiştir. Her iki emülsiyon için de aynı analizler aynı prosedür ile yapılmıştır. Sekiz hafta boyunca tanecik boyutunda her iki emülsiyon için de değişiklik olmazken sodyum kazeinat ile hazırlanan emülsiyonlarda kurkuminin daha stabil olduğu tespit edilmiştir. *In vitro* sindirim analizinde her iki nano emülsiyonun da başarılı şekilde sindirildiği ancak sodyum kazeinat nano emülsiyonlarının daha iyi biyoyararlanım gösterdiği belirlenmiştir. *In vitro* sindirim sırasındaki tanecik artışının sindirim enzimlerinin varlığı, iyonik güç ve pH değişikliklerinden ileri geldiği düşünülmektedir. Çalışma neticesinde bezelye protein izolatının ve sodyum kazeinatın lipofilik biyoaktif bileşiklerin korunması ve kontrollü salınımını sağlamak amacıyla kullanılabileceği bildirilmiştir (Yerramilli ve diğ., 2018).

Su içinde balık yağı formundaki emülsiyona zencefilin sulu ekstraktını dahil ederek oksidasyona karşı stabilitesini ölçmeyi hedefleyen bir çalışmada %5 oranında (kütlece w/w) balık yağı kullanılmıştır. Oksidasyon durumlarını belirlemek amacıyla emülsiyonlara zencefil esansiyel yağı ve zencefilin sulu ekstraktı ilave edilmiştir. Emülsifiyer olarak Tween 20 kullanılmıştır. Bütün emülsiyonlar 21 gün boyunca tüpler içinde 4 °C de bekletilerek DPPH, FRAP, Beta-karoten ağarma testi, toplam fenolik madde içeriği analizleri yapılmış ve oksidasyon durumları takip edilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen verilerle hem zencefil esansiyel yağının hem de zencefil sulu ekstraktının su içindeki balık yağı emülsiyonlarında oksidasyonu inhibe edici etkisi olduğu sonucuna varılmıştır (Gudipati, 2016).

Zencefil esansiyel yağından spreylendirme ile mikro kapsüller oluşturulması ve oluşturulan kapsüllerin fizikokimyasal özelliklerinin incelenmesini kapsayan bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada, gam arabik, maltodekstrin ve inulin kaplama materyali olarak teker teker ve ikili kombinasyonlar halinde kullanılmıştır. Ayrıca yöntem olarak kaba emülsiyonların eldesinde homojenizatör ve ultra sonikatör kullanılmıştır. Çalışma sonucunda ultra sonikasyon yöntemi ile elde edilen emülsiyonların daha stabil ve tanecik boyutunu daha küçük olduğu gözlenmiştir. Kullanılan kaplama materyalleri kombinasyonlarında farklı fizikokimyasal özellikler, partikül boyutları ve higroskopisite özellikleri elde edilmiştir. İncelenen özelliklere dayanarak gam arabik ve maltodekstrin ile üretilen mikro partiküllerin kapsülleme verimliliği, higroskopisite ve ıslanabilirlik gibi özellikleri itibarı ile daha iyi olduğu bildirilmiştir (Victória ve diğ., 2016).

Zencefil ekstraktı içeren mikro emülsiyonların (ME) *in vitro* antienflamatuar aktivitesini ve oluşturulmuş ME'lerin yapısını incelemek amacı ile yapılan bir çalışmada yağ fazı olarak izopropil miristat (IPM), mineral yağ, soya yağı, hindistan cevizi yağı, zeytin yağı gibi yağlar kullanılmış, yüzey aktif madde olarak ise PEG400, Tween 20, Tween 60, Tween 80, Span 80, Etil asetat gibi maddeler kullanılmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen ME'lerin fizikokimyasal özellikleri yönünden analiz edilerek karşılaştırılmıştır. En iyi sonuç yağ fazı olarak IPM için Tween 80 ve PEG400 yüzey aktif maddelerinin kullanıldığı ME'lerde elde edilmiştir. Kullanılan yüzey aktif madde ve yağ fazının emülsiyon tanecik boyutu ve fizikokimyasal özelliklerine etki ettiği bildirilmiştir. Zencefil ekstraktının ME'lerin içine hapsedilmiş formuyla daha uzun süre bozulmadan muhafaza edilebileceği ve zencefil özünün ME'lerin oluşturulmuş formunun standart piroksikam çözeltisi ile karşılaştırıldığında güçlü antienflamatuar aktivite gösterdiği belirlenmiştir (Akram ve diğ., 2019).

Soheila Noori ve arkadaşları (2018) tarafından yapılan bir çalışmada piliç göğsü filetosu üzerine zencefil esansiyel yağı (%3, %6 (w/w)) içeren nano emülsiyon bazlı yenilebilir sodyum kazeinat kaplaması uygulanmıştır. Nano emülsiyon bazlı sodyum kazeinat kaplı tavuk filetoları için partikül büyüklüğü, partikül yükü, polidispersite indeksi, antioksidan ve antimikrobiyal ölçümleri alınmıştır. Zencefil esansiyel yağı içeren nano emülsiyon (%6) bazlı kaplamalar 12 gün boyunca soğukta bekletilerek toplam aerobik psikrofilik bakterinin azalması sağlanmıştır. Antioksidan aktivitenin antimikrobiyal aktiviteden daha az etkili olduğu tespit edilmiştir. Kaplanmış tavuklar arasında en iyi etkinin %6 zencefil esansiyel yağı içeren nano emülsiyonlarla oluşturulmuş filetolar olduğu bildirilmiştir. Genel olarak zencefil esansiyel yağı içeren nano emülsiyonunun tavuk göğsü filetolarında dayanıklılığı

geleneksel emülsiyonlarda daha etkili bir şekilde arttırdığı rapor edilmiştir (Noori ve diğ., 2018).

Zencefil oleoresinin gıdalarda kullanımını kolaylaştırmak dış etkilere karşı korumak, stabilitesini arttırmak için kapsüllendiği bir çalışmada zencefil oleoresin (ZO) %10- 20 (w/w) koruyucu bir lipit matrisi içinde kapsüllenmiştir. Bu çalışmanın amacı ZO kapsülleri- nin 25 ve 40 °C sıcaklıktaki depolama koşullarında izleyerek zencefil bileşenlerinin bozulma durumunu takip etmektir. Katı lipit mikro partikül (KLM)‘ lerin lipit matrisi stearik asit (%90, 80, 75, 65 (w/w)) ve oleik asit (%15, (w/w))’ den oluşturulmuştur. 84 günlük depolamadan sonra taneciklerin kristal yapısında herhangi bir polimorfik değişme olmadığı elekt- ron mikroskopisinde görülmüştür. Oleik asit içeren KLM’lerinin 40 °C de depolandığında 6-gingerolün bozulmadığı belirlenmiştir. Zencefil uçucu bileşenlerinin genel olarak oleik asit içeren parçacıklarda daha stabil olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda KLM’ler için depolama koşulları göz önüne alındığında 25 °C de kapsüllenmiş ZO bileşiklerinin ser- best formdaki ZO bileşiklerine göre daha stabil olduğu rapor edilmiştir (Boesso ve diğ., 2018).

Yapılan bir çalışmada zencefil oleoresinleri ile kitosan kullanılarak emülsiyonları elde edilmiştir. Emülsiyonlar sırasıyla, %1, %2, %3 (w/v) konsantrasyonlarda kitosanlı kırmızı zencefil oleoresinden oluşturulmuştur. Emülsiyon oluşturulurken yöntem olarak çapraz bağlama yöntemi kullanılmış ve sırası ile 20, 10, 6, 6.7 ve 5 ml GST (glutaraldehit doymuş tolüen) ile çapraz bağlı mikro kapsüller elde edilmiştir. En küçük çap %1 kitosanda en büyük partikül çapı ise %4 kitosanda görülmüştür. Çalışma sonunda kitosanda kırmızı zencefil oleoresinini hapsetmek için kullanılan çapraz bağlama yönteminde 75.61 mikrometre ile 178.65 mikrometre arasında değişen küresel mikro kapsülleri elde edilmiştir. Kitosanın kapsülleme verimliliği üzerinde çok etkisi olmazken GST miktarının kitosan çapraz bağlarını güçlendirdiği ve mikro kapsül çaplarını azalttığı belirlenmiştir (Jayanudin ve Moh. Fahrurrozi, 2019).

Kurkuminin çözünürlüğü ve kimyasal stabilitesini iyileştirmek için yapılan bir çalışmada farklı emülgatör tipleri kullanmanın kurkumin yüklü suda yağ emülsiyonlarının stabilitesine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla sodyum kazeinat, Tween 80, quillaja saponin, gam arabik kullanılmıştır. Elde edilen emülsiyonlar fiziksel ve kimyasal kararlılıkları yönünden incelenmiştir. Tüm emülsiyonlar için pH 3`ten 7`ye gidildikçe bozulma meydana gelmiştir. Ayrıca sıcaklık parametresi göz önünde bulundurulduğunda 55 °C`de bozulmalar daha hızlı olmuştur. 15 gün boyunca 55 °C`de muhafaza edilen emülsiyonlar için bozulma derecesi;

saponinler > gam arabik > sodyum kazeinat > Tween 80 olarak bulunmuştur. Genel olarak kurkumin stabilitesi üzerine emülgatörlerin türü ve miktarının etkili olduğu ve sodyum kazeinatın temiz içerikli (clean label), fiziksel ve kimyasal stabilitesi yüksek olması sebebiyle emülsiyon bazlı dağıtım sistemlerinde kullanılabileceği bildirilmiştir (Kharat ve diğ., 2018).

Bafna Harshal ve arkadaşları (2019) tarafından yapılan bir çalışmada zencefil ve zerdeçalın *Streptococcus mutans* üzerine etkisini araştırdıkları çalışma kapsamında *in vitro* deneyler yapılmıştır. Çalışma kapsamında zencefil ve zerdeçalın etanolik ekstraktı soğuk masajlama tekniği ile ayrı ayrı hazırlanarak her birinin ekstraktı inert bir çözücü olan dimetil formamid ile %2, %4, %6, %8, %10 konsantrasyonlarına seyreltilmiştir. Pozitif kontrol olarak %0.2 klorheksidin, negatif kontrol olarak dimetil formamid kullanılmıştır. Farklı oranlardaki ekstraktlar inhibisyon bölgesi ile konsantrasyon değişiminin ilişkisini daha doğru tespit edebilmek için kullanılmıştır. İnhibisyon bölgesi milimetre cinsinden ölçülmüştür. Çalışma neticesinde zerdeçal ekstraktlarından %8 konsantrasyonlu örnek 33 mm'lik en büyük inhibisyon bölgesini sunarken, zencefil ekstraktlarından %10 konsantrasyonlu örnek 34 mm'lik en büyük inhibisyon bölgesini oluşturmuştur. Negatif kontrol bakteri direncini düşürecek hiçbir etki göstermemiştir. Böylece zencefil ve zerdeçalın gösterdiği etkinin, kullanılan çözücünden değil yapısındaki biyoaktif bileşenlerden ileri geldiği ifade edilmiştir. Pozitif kontrol beklendiği gibi antimikrobiyal aktivite göstermiştir. Bu sonuçla zencefil ve zerdeçalın bilinen hiçbir yan etkisi olmadığından doğal antimikrobiyal ajan olarak gıdalarda kullanılabileceği ve diş çürüğü sorununu azaltmada yardımcı olabileceği sonucuna varılmıştır (Bafna Harshal, 2019).

Yi ve ark. (2015) tarafından emülsifikasyon buharlaştırma yöntemi ile β - karoten sodyum kazeinat, peynir altı suyu proteini ve soya proteini kullanılarak enkapsüle edilmiştir. Nanokapsüllerin biyoyararlılığı incelenmiştir. Çalışma neticesinde β - karotenin enkapsüle edilmiş formunun serbest haline göre hücresel antioksidan aktivitesinin daha yüksek olduğu bulunmuştur. Ayrıca peynir altı suyu proteini ile stabilize edilmiş nanokapsüllerin diğer nanokapsüllere göre daha iyi kontrollü salınım gösterdiği bildirilmiştir (Çinkır, 2018).

Zencefil ekstraktının yağların oksidasyonuna etkisini incelemek için yapılan bir çalışmada negatif kontrol olarak hiçbir şey eklenmemiş olan yağ pozitif kontrol olarak ise bütilillenmiş hidroksitoluen (BHT) kullanılmıştır. Zencefil ekstraktı 200, 600, 1000, 1400 ve 1800 ppm oranlarında palm oleine katılmıştır ve oksidasyon durumunu incelemek amacıyla

her gün PV, TOTOX, TBA Sayısı ve iyot sayısı analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda zencefil ekstraktının palm olein yağının oksidasyonu karşısında antioksidan etki gösterdiği ve etkinin konsantrasyona bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Ayrıca zencefil ekstraktının antioksidan etkisinin kontrol grubu ve BHT` den daha iyi olduğu bildirilmiştir (Djikeng, 2022).

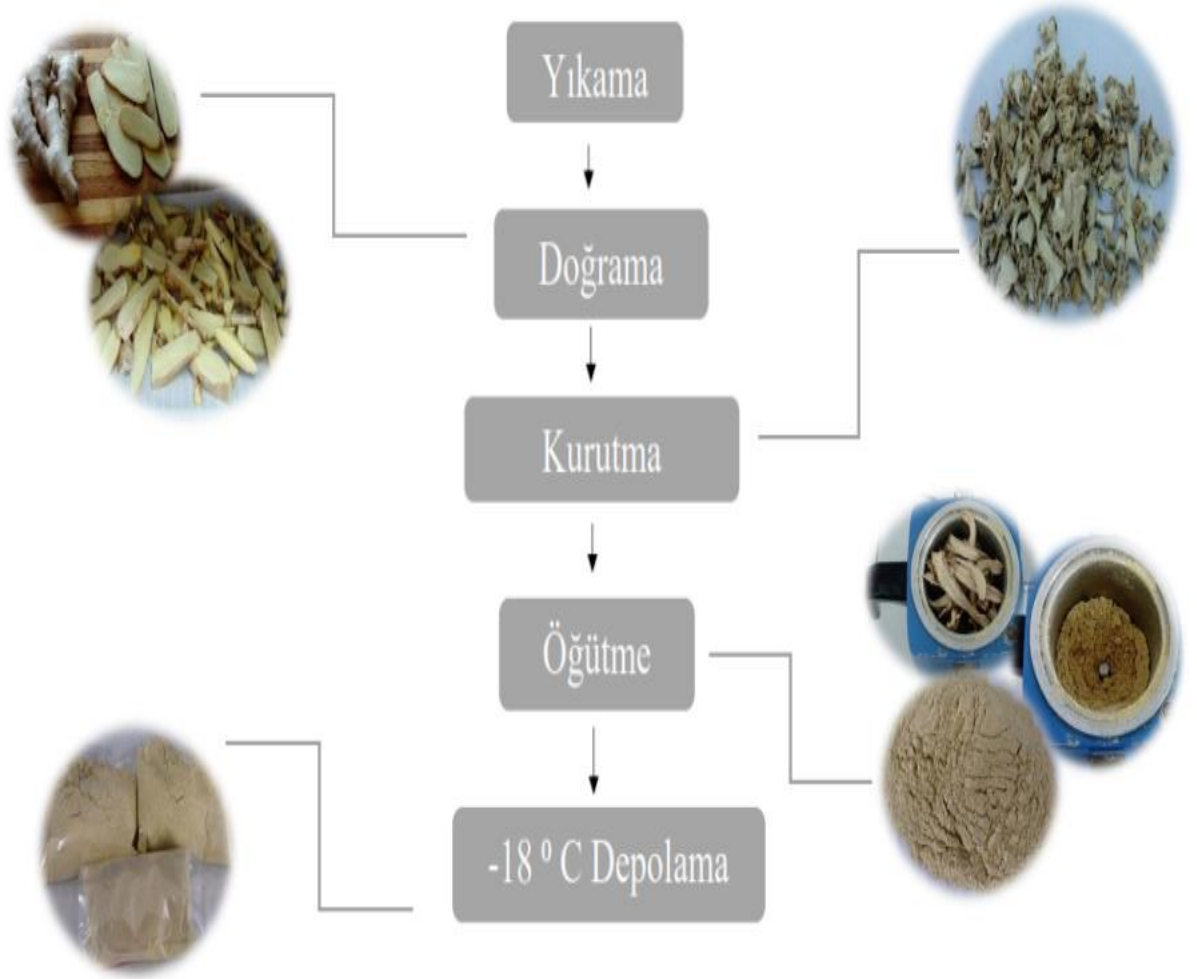
Yapılan bir başka çalışmada küçük damlacık boyutuna sahip enkapsüle linoleik asidin oksidasyonunun, damlacık boyutu nispeten büyük kapsüllere kıyasla daha yavaş olduğu belirtilmiş; bunun nedeninin yüzeydeki kapsüllenmemiş yağ miktarının düşmesine bağlı olduğu ifade edilmiştir (Güngör ve diğ., 2013).



4. MATERYAL VE METOD

4.1 Zencefil

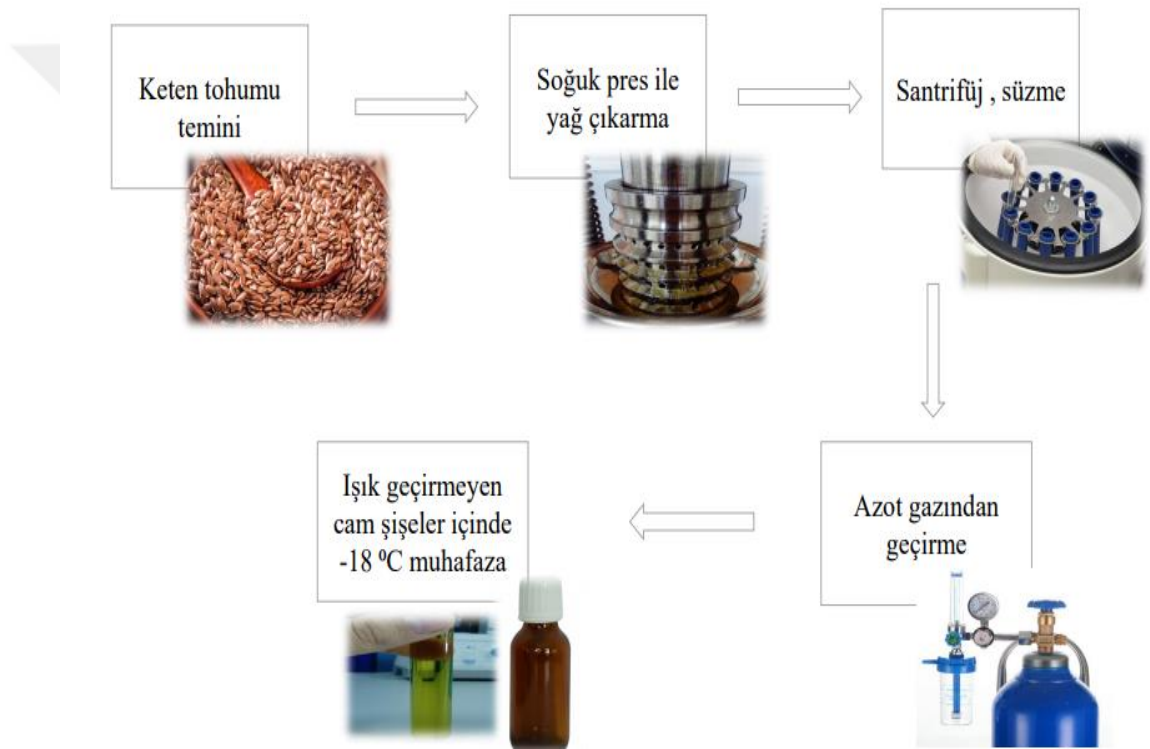
Zencefilin hazırlanması: yerel bir marketten alınan kök zencefiller dış yüzeyi tamamen temizleninceye kadar yıkanmıştır. Yıkanan zencefiller ince dilimler halinde doğranmıştır. Zencefil 50 °C`ye ayarlanmış vakumsuz etüv içine kurutma kâğıdı üzerine serilerek kurutulmuştur. Kurutulan zencefiller laboratuvar tipi öğütücüde öğütülerek toz hale getirilmiştir. Toz haldeki zencefil 100 mesh boyutundaki elekten geçirilmiş, ısı ve nem geçirmeyen kilitli ambalajlarda -18 °C`de kullanılıncaya kadar muhafaza edilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4. 1: Zencefilin kurutulma aşamaları

4.2 Keten Tohumu Yağı

Çalışmada kullanmak için yerel bir marketten alınan keten tohumundan soğuk pres yöntemiyle keten tohumu yağı elde edilmiştir. Bu amaçla keten tohumu öğütücü yardımıyla öğütülmüş ve bez torbalar içinde soğuk pres yağ ekstraksiyon cihazı (AISI3004, Ceselsan, Giresun, Türkiye) preslenerek keten tohumu yağı çıkarılmıştır. Elde edilen yağın içindeki katı madde ve tortular elimine edilmiş ve yağ azot gazından geçirilerek kullanıncaya kadar -18°C 'de muhafaza edilmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2: Keten tohumu yağının elde ediliş aşamaları

4.3 Yapılan Analizler

- Partikül boyutu
- Partikül yükü
- Türbidite (bulanıklılık)
- Termal stabilite
- pH etkisi
- Tuz konsantrasyonu etkisi
- Peroksit sayısı
- TBA sayısı
- GC-MS ile uçucu bileşen tayini

4.3.1 Kullanılan kimyasallar

Bu çalışmada emülsifiye edici ajan olarak gam arabik, quillaja saponin ve whey protein (peynir altı suyu proteini) kullanılmıştır. Metanol, etanol, kloroform, izopropil alkol, amonyum tiyosiyanat (NH_4SCN), hidroklorik asit (HCl), demir klorür (FeCl_2), tuz (NaCl), TBA (tiyobarbütirik asit), BHT (bütil hidroksi tolueen), TCA (triklorasetik asit) kimyasalları analitik saflıkta olmak üzere Sigma-Aldrich firmasında temin edilmiştir.

4.3.2 Kullanılan cihazlar

Bu tez çalışmasında kullanılan cihazlar şunlardır;

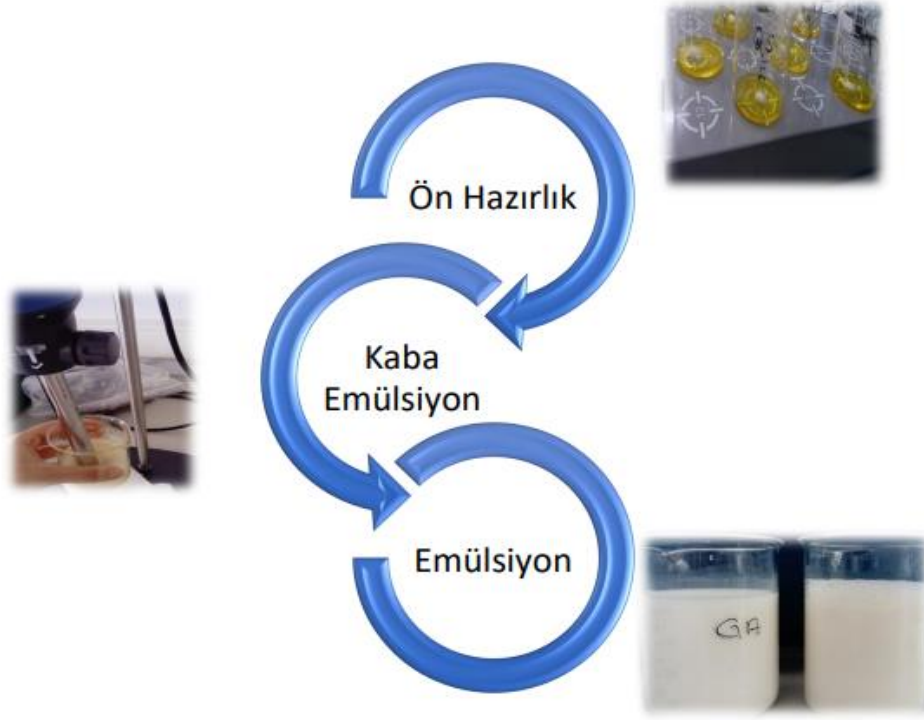
- Otomatik pipetler
- Yüksek devirli parçalayıcı (Heidolph, Almanya),
- Çoklu manyetik karıştırıcı (Velp Scientifica, Almanya),
- Hassas terazi (Ohaus PA214C, USA),
- Saf su cihazı (GFL, type 2004, Almanya),
- Kâse tipi blender,
- Vorteks (Heidolph, İtalya),
- Sıcak su banyosu (Memmert, Almanya),
- Etüv (Nüve, Almanya),

- UV-VIS çift ışın yollu spektrofotometre (UV-1800, SHIMADZU, Japonya),
- Ultra saf su cihazı (Millipore-Q, ABD),
- Santrifüj (Thermo Scientific-SL16R, ABD),
- Partikül yükü ölçüm cihazı (Zetasizer Nano - ZS, model ZEN3600, Malvern Instruments, Birleşik Krallık)
- Malvern Mastersizer 2000 (Malvern Instruments Ltd.,UK)
- GC-MS (Shimadzu, Kyoto, Japonya)
- Soğuk pres yağ ekstraksiyon cihazı (AISI3004, Ceselsan, Giresun, Türkiye)

Bu çalışmanın ilk kısmı kullanılacak emülsiyon sistemlerinin tasarlanarak uygun konsantrasyonlarının belirlenmesidir. Bu amaç doğrultusunda ilk olarak farklı emülsifiye edici ajanlar ve farklı derişimler kullanılmış ve araştırmanın amacına uygun derişim ve emülsifiye ajanlar belirlenmiştir. Emülsifiyer olarak doğal emülsifiyerlerden gam arabik (GA), whey protein (peynir altı suyu proteini, WP) ve quillaja saponin (QS), yağ fazı olarak keten tohumu yağı kullanılmıştır. Emülsiyonların stardardizasyonu tamamlandıktan sonra ilk olarak fiziksel analizler daha sonraki basamaklarda da kimyasal analizler tüm emülsiyon örnekleri için aynı koşullarda yapılmıştır.

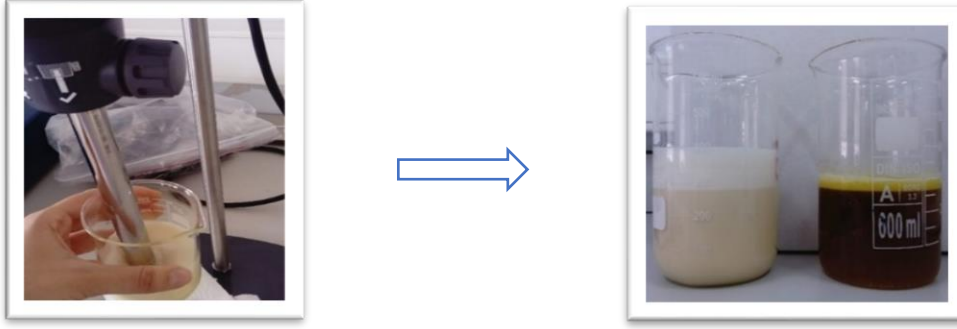
4.3.3 Emülsiyon hazırlama

Emülsiyon hazırlama prosedürü temel olarak üç aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar; ön hazırlık, kaba emülsiyon oluşturma ve son ürün emülsiyonun hazırlandığı aşamalardır (Şekil 4.3). Toz halde saklanan zencefil (10 mg zencefil/1 gram yağ), 5% (5 gr) keten tohumu yağı içinde 2 saat karıştırılarak hazırlanmıştır. 95 % 100 mM fosfat tampon çözeltisi ile (ayrı ayrı 1 % qualaja saponin, gam arabik, whey protein içeren) (pH 7) ultra hızlı el blenderi (homogenizatör) ile 4 dk karıştırılarak kaba emülsiyonlar oluşturulmuştur (Şekil 4.4). Daha sonra kaba emülsiyonlar yüksek basınçlı homogenizatörde 9 kbar basınçta 5 kez geçirilerek nanoemülsiyonlar elde edilmiştir (Şekil 4.5). Zencefilin emülsiyona dahil edildiği yöntemin eldesi için nanodisperserden geçirilmiş örneklere zencefil eklenerek 400 rpm`de 2 saat magnetik karıştırıcıda karıştırılmıştır.



Şekil 4.3: Emülsiyon yapım aşamaları

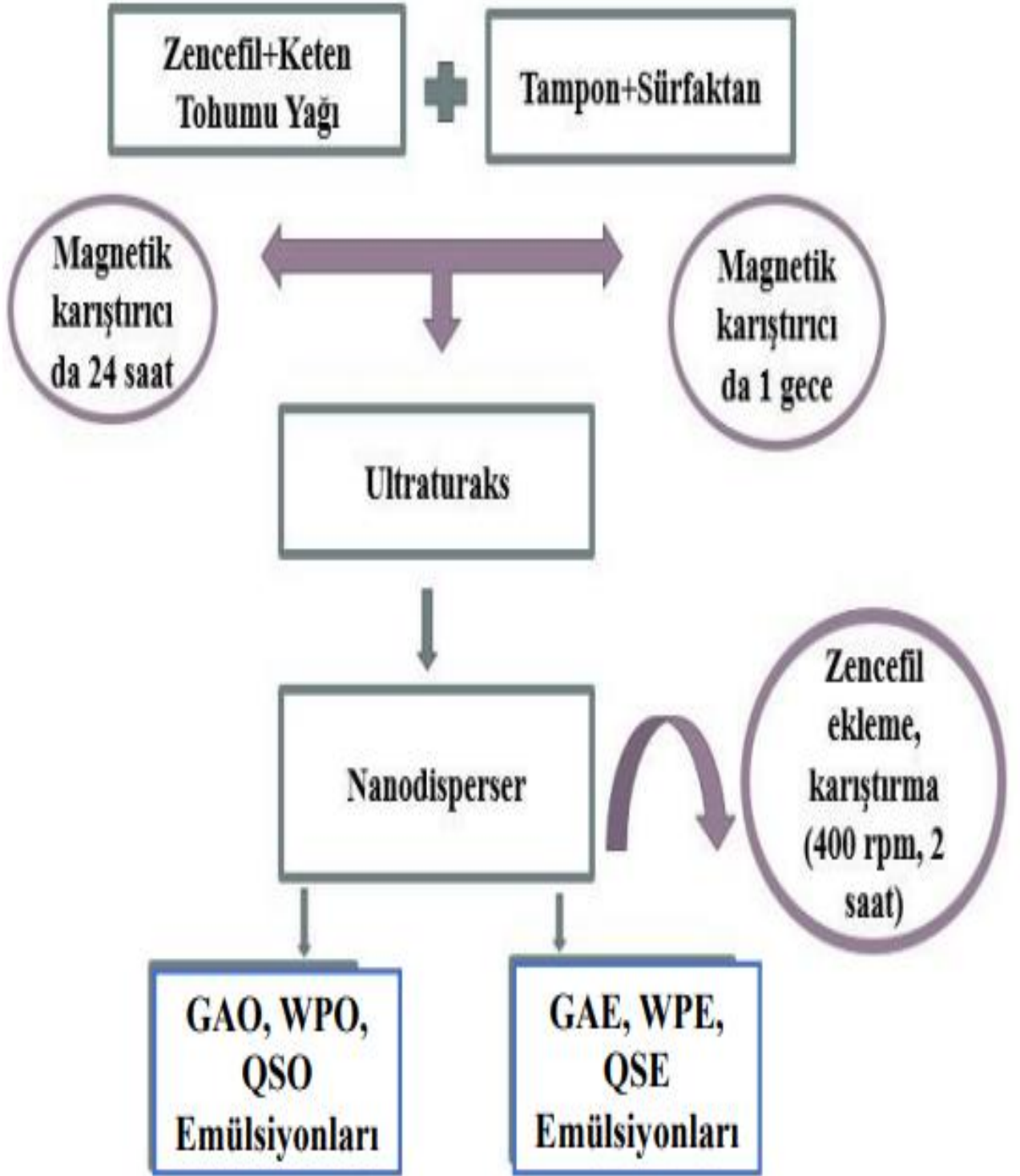
Zencefilin yapısındaki biyoaktif bileşiklerinin önemli bir kısmı apolar formdadır ve polar çözücülerde düşük çözünürlüğe sahiptir. Nanoemülsiyonlar oluştururken biyoaktif yönden kıymetli bu bileşenlerin apolar bir yapıda olan yağda mı yoksa polar yapıdaki emülsiyonda mı daha iyi çözündüğünü belirlemek amaçlanmıştır. Aynı zamanda bu iki çözündürme yönteminin son üründe fizikokimyasal yönden farklılık oluşturup oluşturmadığı da yaptığımız analizler ile takip edilmiştir. Toz haldeki zencefilin yağa eklenmesiyle oluşturulan emülsiyonlara Gam arabik-Yağ (GA-Y), Whey Protein-Yağ (WP-Y), Q. Saponin-Yağ (QS-Y) denilirken son ürün emülsiyona zencefil katılan örneklerle Gam Arabik-Emülsiyon (GA-E), Whey Protein-Emülsiyon (WP-E), Q:Saponin-Emülsiyon (QS-E) olarak adlandırılmıştır (Şekil 4.6).



Şekil 4. 4: Kaba emülsiyon (sol) ve sürfaktan tampon karışımı (sağ)



Şekil 4. 5: Yüksek basınç homojenizatör



Şekil 4. 6: Emülsiyon oluşturma basamakları iş akış diyagramı

4.3.4 Fiziksel analizler

4.3.4.1 Partikül boyutu ve partikül yükü

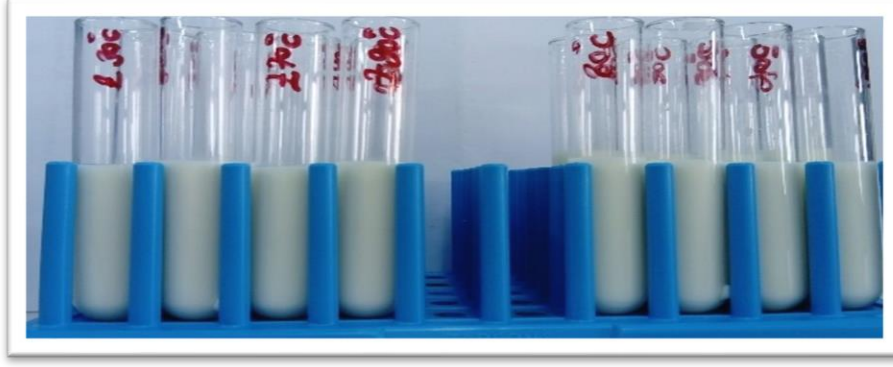
Çalışma kapsamında oluşturulan emülsiyonların partikül boyutları Mastersizer (Mastersizer 2000, Malvern Instruments, Birleşik Krallık) ve partikül yükleri Zetasizer (Zetasizer Nano ZS, model ZEN3600, Malvern Instruments, Birleşik Krallık) cihazı kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 4.7). Elde edilen veriler partikül boyutu için μm ve partikül yükü için ise mV olarak ifade edilmiştir.



Şekil 4. 7: Mastersizer cihazı ile ölçüm alınırken

4.3.4.2 Termal Stabilité

Zencefil-keten tohumu içeren emülsiyonların sıcaklık karşısında davranışını incelemek için her bir grup 30, 50, 70, 90 °C de 30 dakika tutulup 24 saat karanlıkta bekletilmiştir (Şekil 4.8). Bir gün sonra emülsiyonlar fosfat tamponu (pH 7) ile 500 kat seyreltilerek partikül yükleri her bir örnek için üç paralel olmak üzere Zetasizer (Zetasizer Nano - ZS, model ZEN3600, Malvern Instruments, Birleşik Krallık) cihazı ile belirlenmiştir (Şekil 4.7). Partikül boyutları ise herhangi bir seyreltme işlemi yapılmadan Mastersizer (Mastersizer 2000, Malvern Instruments, Birleşik Krallık) ile üç paralel olarak ölçülmüştür.



Şekil 4. 8: Termal stabilite analizi yapılan örnekler

4.3.4.3 pH Etkisi

Emülsiyon partikül boyutu ve partikül yükünün pH değişimlerine direncini, davranışlarını belirlemek için her bir örnek emülsiyon 1 M HCl ve 1 M NaOH'lık çözeltiler kullanılarak 3.0, 5.0, 7.0 pH noktalarına getirilmiştir (Şekil 4.9). Aynı örnekler 24 saat karanlıkta bekletilmiş süre sonunda 500 kat seyreltilerek (pH 7 fosfat tamponu ile) partikül boyutları ve partikül yükleri ölçülmüştür.



Şekil 4. 9: pH etkisi analizi için hazırlanmış örnekler

4.3.4.4 Tuz Konsatrasyonu Etkisi

Emülsiyonların değişen ortamlara ve tuz konsatrasyonlarına karşı davranışlarını incelemek amacıyla her bir grup emülsiyon için NaCl kullanılarak 100, 300, 500 mM derişimler ayarlanmış olup hazırlanan bu emülsiyonlar 24 saat oda sıcaklığında karanlıkta bekletilmiştir (Şekil 4.10). Bir gün sonra Zetasizer (Zetasizer Nano - ZS, model ZEN3600, Malvern

Instruments, Birleşik Krallık) ve Mastersizer (Mastersizer 2000, Malvern Instruments, Birleşik Krallık) cihazları ile ölçümler yapılmıştır.



Şekil 4. 10: Tuz konsantrasyonu etkisi analizi için hazırlanmış örnekler

4.3.4.5 Türbidite (Bulanıklılık) Analizi

Bulanıklılık analizleri için emülsiyonlar fosfat tamponu (pH 7) ile 500 kat seyreltilerek 600 nm dalga boyunda UV-VIS Spektrofotometrede (UV-1800, SHIMADZU, Japonya) okuma yapılarak ölçüm yapılmıştır. Her örnek için 3 paralel tekrarlanmıştır.

4.3.5 Oksidasyon analizleri

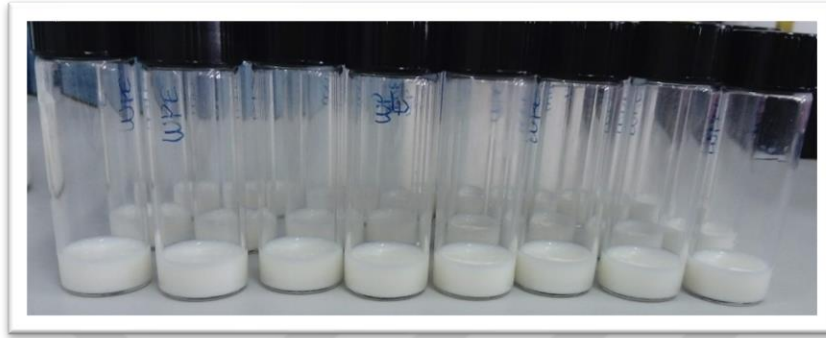
4.3.5.1 Peroksit sayısı

Nanoemülsiyonlar peroksit sayısı tayini öncesi kapaklı cam tüplerde 37 °C'lık etüvde bekletilmiştir (Şekil 4.11). Emülsiyonlarda kullanılan yağların oksidasyon durumunun tayini için peroksit sayısı analizi yapılmıştır. Bu amaçla 0.2 ml emülsiyona 1.5 ml izooktan/2-propanol çözeltisi (3:1, v/v) ilave edilerek 20 saniye vortekslenmiştir. Vorteks sonrası çözeltiler 3000 rpm devirde 2 dakika santrifüjlenerek üst fazdan 0.2 ml alınarak başka bir tüpe bırakılmış üzerine 2.8 ml metanol/bütanol (2:1, v/v) eklenmiştir. Elde ettiğimiz son çözeltiliye 30 µl demir (Fe^{2+}) ilave edilerek 20 saniye vortekslenmiştir. Son olarak 20 dakika karanlıkta bekletildikten sonra Spektrofotometrede (UV-1800, SHIMADZU, Japonya) 510 nm dalga boyunda ölçümler yapılmıştır.

Fe^{2+} çözeltisi için 0.144 M $FeSO_4$ saf suda çözülmüş, 0.132 M $BaCl_2$ ile eşit miktarda

alınarak bir tüpte karıştırılıp 2 dakika santrifüj edilmiştir. Süre sonunda oluşan üst fazdan ve NH_4SCN çözeltisinden eşit miktarda alınıp karıştırılması ile elde edilmiştir. (Çözelti bekletilmeyecek şekilde kullanımdan hemen önce hazırlanmıştır.)

Peroksit sayısı kümen hidroperoksit ile hazırlanmış standart kalibrasyon eğrisi yardımıyla belirlenmiştir.



Şekil 4. 11: Peroksit sayısı analizi yapmak üzere hazırlanmış örnekler

4.3.5.2 TBARS analizi

İlerleyen oksidasyon sürecinde ortaya çıkan ikincil oksidasyon ürünlerini tayin etmek için McDonald ve Hultin'in TBARS testi modifiye edilerek kullanılmıştır. Analiz için 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) ile etanol içinde çözdürülmüş %2'lik BHT ile hazırlanmıştır) ilave edilerek 90 °C'lik su banyosunda 15 dakika bekletilmiştir. Süre bitiminde sıcak su banyosundan alınan örnekler soğuk suda 10 dakika bekletildikten sonra 3000 rpm devirde 5 dakika santrifüj edilmiştir. Santrifüj işlemi takiben ayrılan üst fazdan alınarak Spektrofotometrede (UV-1800, SHIMADZU, Japonya) 532 nm dalga boyunda ölçümler yapılmıştır.

Bir diğer yöntemde analiz için 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) ile etanol içinde çözdürülmüş %2'lik BHT ile hazırlanmıştır) bir tüpte karıştırılıp vortekslenmiş ve ağzı kapalı olarak 24 saat bekletilmiştir. 24 saat sonra örneklerle 3000 rpm devirde 20 dakika santrifüj işlemi uygulanarak 532 nm dalga boyunda ölçümler yapılmıştır.

TBARS derişimleri 1,1,3,3-tetraetoksipropan (TEP) ile hazırlanan bir kalibrasyon eğrisi yardımıyla hesaplanmıştır.

4.3.6 Uçucu bileşen tayini

Zencefilin yapısında bulunan uçucu bileşenlerin emülsiyon formda absorplanma durumu GC-MS cihazı (Shimadzu GC-2010 gaz kromatografisi ve Shimadzu QP-2010 kütle spektrometresi) ile belirlenmiştir. Uçucu bileşen tayini için emülsiyon örnekleri her örnek için 3,0 g olacak şekilde 10 µl, 81 ppm, 2-metil-3-metanol içinde heptanenon (Sigma Aldrich, ABD) 15 ml'lik cam viallere bırakılarak SPME analizine hazırlanmıştır. Örnekler başlangıçta ekstraksiyon için 40 °C`de 30 dakika bekletilmiş ve ekstraksiyon işlemi 50/30 µm DVB/CAR/PDMS fiber (Supelco, USA) kullanılarak manuel flakon enjeksiyonu ile 30 dakika 40 °C`de tepe boşluğuna maruz bırakılarak gerçekleştirilmiştir. Fiberin emdiği uçucu bileşenler Shimadzu GC-2010 gaz kromatografi-QP 2010 kütle spektrometresi (Shimadzu, Kyoto, Japonya) ile belirlenmiştir. Fiber 250 °C`de 2 dakikalık desorpsiyon süresi boyunca enjektörde kalmış ve 1 ml/dakika akış hızında taşıyıcı gaz olarak Helyum kullanılmıştır. Uçucu maddeler, DB-WAX kapiler GC kolonu (60 m x 0.25 mm x 0,25 µm; J&W Scientific, USA) kullanılarak ayrılmıştır. Fırın sıcaklığı 2 dakika 40 °C`de tutulmuş ve dakikada 5 °C olmak üzere 70 °C`ye yükseltilmiş bu sıcaklıkta 1 dakika tutulmuştur. Daha sonra sıcaklık dakikada 10 °C hızında 240 °C`ye yükseltilmiş ve 5 dakika bekletilmiştir. Zencefil uçucu bileşikler; aynı koşullar altında bir n-alkan serisi (C₁₀-C₂₆) kullanılarak her bileşiğin tutulma indeksi (RI) ile tanımlanmıştır. Pik tanımlamaları bilinmeyen bileşiklerin kütle spektrumlarının Wiley 7 (7. Baskı) ve NIST/EPA/NIH O₂ kütle spektral kütüphanesinde bulunan bileşiklerle karşılaştırılmasıyla oluşturulmuştur. Tanımlamalar tutulma süreleri ile bilinen referans standartlarının tutulma sürelerinin karşılaştırılmasıyla doğrulanmıştır. Çalışmada toplam 30 kimyasal standart kullanılmış ve tutulma süreleri değerleri aynı koşullarda belirlenen örnekler ile eşleştirilerek karşılaştırılmıştır.

4.3.7 İstatistiksel analizler

Çalışmada elde edilmiş olan sonuçlar istatistiksel olarak SPSS 16.0 paket programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuçların ortalamaları arasındaki farkların istatistiksel önem düzeyleri “One way ANOVA (Analysis of Variances - Tek Yönlü Varyans Analizi)” Testi ve “DUNCAN” post testiyle belirlenmiştir.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1 Fiziksel Analizler

5.1.1 Partikül boyutu ve Partikül Yüğü

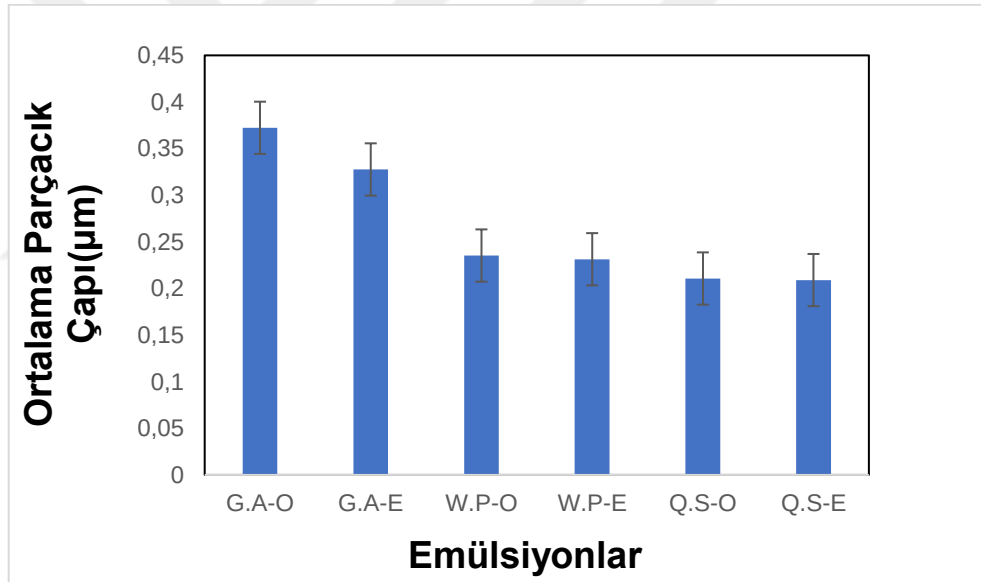
Partikül boyutu ve partikül yüğü değeri nanoemülsiyonların fiziksel ve kimyasal stabilitesi üzerinde etkin rol oynayan parametrelerdir. ζ potansiyel değeri, parçacıkların net yüzey yüğü durumunu ifade eder ve sistem kararlılığı hakkında değerlendirme yapmak için kullanılır (Luyun Cai ve diğ., 2020). Bu nedenle araştırmanın ilk kısmında kullanılacak yüzey aktif madde türü ve oranı üzerinde çalışılmıştır. Bu amaçla gam arabik, quillaja saponin, whey protein, lesitin, Tween 80 yüzey aktif maddeleri % 0.5, %1, %1.5, %2 oranlarında kullanılarak ön denemeler yapılmıştır. Yapılan ön denemeler neticesinde gam arabik (GA), whey protein (WP) ve quillaja saponin (QS) yüzey aktif maddelerinin %1 konsantrasyonda kullanılmasına karar verilmiştir. Nanodisperser cihazı ile oluşturulmuş emülsiyonlar için partikül yüğü ile partikül boyutu Zetasizer (Zetasizer Nano - ZS, model ZEN3600, Malvern Instruments, Birleşik Krallık) ve Mastersizer (Mastersizer 2000, Malvern Instruments, Birleşik Krallık) cihazları vasıtasıyla ölçülmüştür.

Partikül boyutu ile ilgili yapılan ölçümlerde partikül boyutları 0.200 μm ile 0.380 μm arasında bulunurken en küçük partikül boyutu QS ile stabilize edilen örneklerde en yüksek partikül boyutu ise GA ile stabilize edilen örneklerde görülmüştür. Emülsiyon örneklerinin partikül boyutları GA-O, GA-E, WP-O, WP-E, QS-O, QS-E örnekleri için sırasıyla 0.372 μm , 0.327 μm , 0.235 μm , 0.231 μm , 0.210 μm , 0.209 μm olarak ölçülmüştür (Şekil 5.1). Kullanılan 3 doğal sürfaktan arasında en küçük partikül boyutunun elde edildiği örnekler QS ile stabilize edilenlerdir. En büyük partikül boyutu ise GA ile stabilize edilen emülsiyon örneklerine aittir.

Yapılan bir çalışmada portakal kabuğu yağı modifiye nisasta veya gam arabik ile mikroenkapsüle edilmiş emülsiyon damlacık boyutu olabildiğince azaltılmıştır. Çalışmada küçük emülsiyon damlacık boyutunun, aroma enkapsülasyonunu arttırdığı ve enkapsüle olmamış yağ oranının azaldığı rapor edilmiştir. Çalışma sonucunda aynı zamanda emülsiyon partikül boyutunun büyük olduğu durumda raf ömrünün uzadığı bildirilmiştir (Güngör ve diğ., 2013) Çay saponinleri, Q.Saponin ve Tween 80 kullanılarak emülsiyonların stabilize edildiği ve bu emülsiyonların emülsifikasyon özelliklerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada QS ile stabilize edilmiş emülsiyonların partikül boyutu 0.2 nm değerlerinde bulunmuştur. Ayrıca QS

ile oluşturulmuş emülsiyonların partikül yükü -50 mV civarı bir değerde bulunmuştur (Zhua, 2018). Diğer bir çalışmada ise Badee ve ark., (2012) nane esansiyel yağının mikroenkapsülasyonunda en iyi kaplama materyalinin gam arabik olduğunu ve taşıdığı yağa göre verimin %81 olduğu saptanmıştır. Ayrıca, mikroenkapsülasyon sonucu nane esansiyel yağının kimyasal yapısında herhangi bir değişiklik olmadığı belirtilmiştir (Başyigit ve diğ., 2017).

Toz hale getirilmiş zencefilin yağ fazına ve su fazına katılarak emülsiyonlar oluşturulmasının partikül boyutu üzerine önemli bir etkisi olmadığı görülmektedir. Emülsiyonların partikül boyutu arasındaki temel farklılık kullanılan emülsifiye edicilerden ileri gelmektedir. Bütün emülsiyonların partikül boyutu 400 nm`den küçük bulunmuştur. Emülsiyonların partikül boyutu yönünden büyüklüğü incelendiğinde literatürde yer alan çalışmalara yakın sonuçlar elde edildiği görülmektedir.



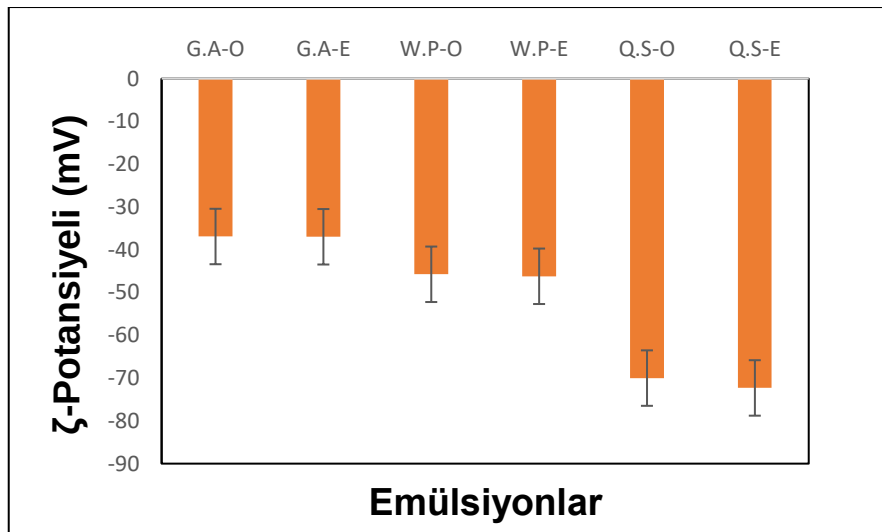
Şekil 5.1: Emülsiyonların partikül boyutu ($D_{3,2}$ - µm)

Emülsiyonların partikül yükü değerleri Zetasizer (Zetasizer Nano - ZS, model ZEN3600, Malvern Instruments, Birleşik Krallık) cihazı kullanılarak belirlenmiştir. 3 farklı sürfaktan ve 2 farklı yöntem ile elde edilmiş emülsiyonlar incelediğinde bütün emülsiyonların partikül yükünün negatif olduğu ve -30 ile -75 mV arasında bir değerde olduğu tespit edilmiştir. Emülsiyonların partikül yükleri GA-O, GA-E, WP-O, WP-E, QS-O, QS-E örnekleri için sırasıyla -36.9 mV, -36.96 mV, -45.7 mV, -46.2 mV, -70.0 mV, -72.3 mV olarak ölçülmüştür (Şekil 5.2). Emülsifiyer açısından kıyaslama yaptığımızda negatif olarak en

yüksek partikül yükü GA ile stabilize edilen örneklerde ölçülürken, en düşük partikül yükü QS ile stabilize edilen örneklerde ölçülmüştür. Emülsiyonların partikül yüklerinin genel durumunu irdelemek gerekirse, her 3 yüzey aktif madde ile stabilize edilmiş emülsiyon örneklerinin de negatif olduğu belirlenmiştir. Bu durum emülsifiye edicilerin anyonik yapıda olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca yöntem olarak toz zencefilin yağ fazına ve su fazına eklenmesinin partikül yükü üzerinde belirgin bir farklılığa neden olmadığı ve temel farklılığın kullanılmış olan yüzey aktif maddeden kaynaklandığı görülmektedir.

Uçucu yağlarda iyonlaşabilen gruplara sahip kimyasal bileşenlerin varlığında yüksek enerjili emülsifikasyonların etkisi altındaki emülsiyonlar, hidroksil ve karboksil gruplarını serbest bırakabilir ve bu durum emülsiyonda negatif yükün artmasına neden olur. Genel olarak daha yüksek mutlak partikül yükü değeri emülsiyon sistemlerinin daha yüksek stabiliteye olduğu anlamına gelmektedir (Cai ve diğ., 2020).

Literatürde yer alan çalışmalara ve elde edilen verilere bakıldığında oluşturmuş olduğumuz emülsiyonların yapılarındaki uçucu yağların bünyesinde iyonlaşabilen bileşikler barındırması aynı zamanda bu bileşiklerin yüksek enerji gerektiren bir emülsifikasyon yöntemi seçmemiz yönünden yüksek enerji altında iyonlaştığı düşünülmektedir. Ayrıca kullanılan emülsifiye edicilerin anyonik olması sebebiyle emülsiyonların partikül yüklerinin negatif olarak ölçülmesi beklenen değerlerle uyumaktadır. Benzer çalışma ve verilere bakıldığında partikül yükü bakımından en stabil emülsiyon örneklerinin mutlak değerce en büyük değerde olan QS emülsiyonlarına ait olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.2: Emülsiyonların Zetasizer ile yapılan ζ - potansiyel değerleri (mV)

5.1.2 Termal stabilite

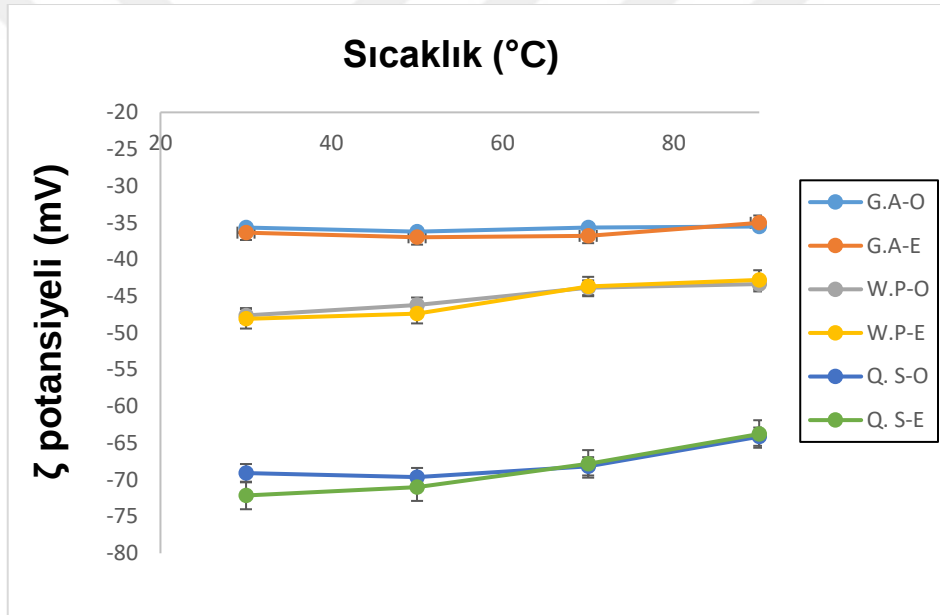
Gıdaların hazırlanışlarından tüketime sunuluncaya kadar devamlı olarak aynı sıcaklıkta bekletilmediği gerek işleme ve hazırlama proseslerinde gerekse hazırlandıktan sonraki taşıma ve depolama aşamalarında standart bir ortamı oluşturmanın mümkün olmadığı göz önünde bulundurulursa, termal değişimlere dirençli bir yapının gıdaları korumada olmazsa olmaz olduğu gerçeği ortaya çıkmaktadır. Emülsiyonların sıcaklık artışı konusundaki davranışını belirlemek için termal stabilite analizleri yapılmıştır. Bu amaçla bütün emülsiyonlar 30, 50, 70 ve 90 °C sıcaklıkta 30 dk bekletilmiştir. Sıcaklık maruziyeti sonrası emülsiyon örnekleri için partikül yükü (Şekil 5.3) ve partikül boyutu (Şekil 5.4) değerleri okunarak aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.

Emülsiyonlar için sıcaklık artışının partikül boyutuna etkisi incelendiğinde GA-O emülsiyonlarının partikül boyutunda artış ve azalmalar görülmektedir. GA-O örnekleri için 0. gün ortalama partikül boyutu 0.372 µm iken 30 °C için ortalama partikül boyutu 0.322 µm düşmüştür. Ayrıca 50 °C`de 0.356 µm, 70 °C`de 0.345 µm ve 90 °C için yaklaşık 0.350 µm ortalama partikül boyutu sonuçları bulunmuştur. GA-E, WP-O, WP-E, QS-O ve QS-E emülsiyonlarının partikül boyutunda sıcaklık artışına bağlı olarak önemli bir değişiklik olmamıştır. WP-O örnekleri için 0. günde ortalama partikül boyutu 0.235 µm olarak ölçülürken 30, 50, 70 ve 90 °C`lerde sırasıyla 0.230 µm, 0.226 µm, 0.228 µm, 0.220 µm olarak bulunmuştur. WP-E örneklerinde ise 0. Günde 0.231 değerinde 30, 50, 70, 90 °C`lerde ise sırasıyla 0.224 µm, 0.226 µm, 0.230 µm ve 0.221 µm değerlerinde ölçülmüştür. QS-O emülsiyonlarının ortalama partikül boyutu 0. Günde 0.207 µm ve 30, 50, 70, 90 °C sıcaklıklarda sırasıyla 0.207 µm, 0.213 µm, 0.199 µm, 0.203 µm değerlerinde bulunurken; QS- E örneklerinde de emülsiyonun ortalama tanecik boyutu sıcaklık artışına rağmen 0. gün için ölçülen 0.212 µm değeri ile aralarında istatistiksel olarak fark bulunmamaktadır ($p<0.05$).

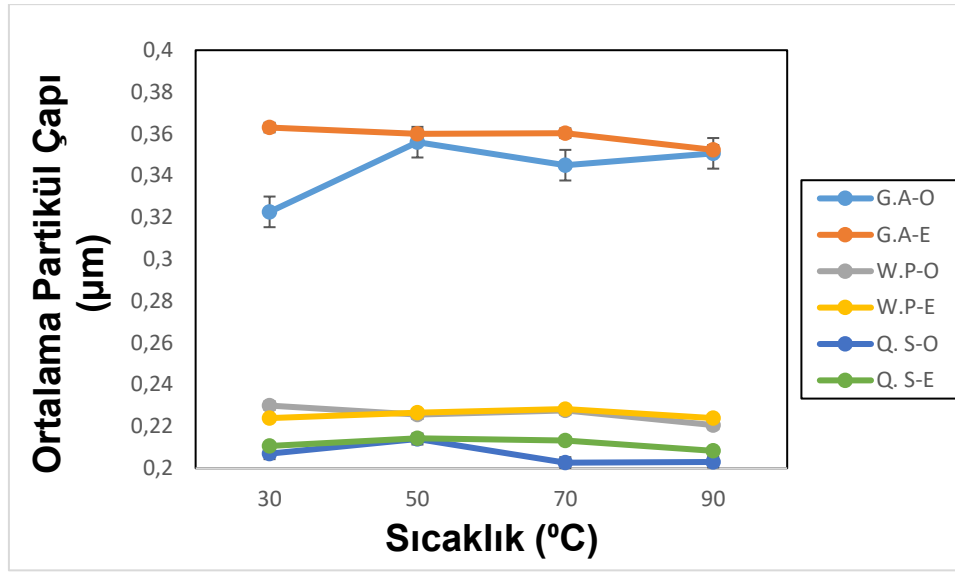
Gallardo ve diğ. (2013) keten tohumu yağının, peynir altı suyu proteini ile stabilize edilerek enkapsüle edilmesinin yağın termal ve oksidatif stabilitesini arttırdığını bildirmişlerdir. Ayrıca peynir altı suyu proteinlerinin istenen organoleptik özellikleri ve oksidatif stabiliteyi sağlayıcı iyi bir emülsifiyer olduğunu vurgulanmışlardır (Gallardo ve diğ., 2013)

Emülsiyonların tanecik yükünün sıcaklık artışı karşısında davranışına baktığımızda ise sıcaklık artışının partikül yükü üzerinde önemli bir değişikliğe yol açmadığı görülmektedir. GA ile stabilize edilen örneklerin sıcaklık değişimleri karşısında partikül yükü değerleri -

35.03 ile -37.0 mV arasındadır. WP ile stabilize edilen örneklerin partikül yükü -48.1 ile -43.0 mV arasında bulunmuştur. QS-O örneklerinin partikül yükü 0. gün -70.0 iken sıcaklık artışı ile paralel olarak artarak 30, 50, 70, 90 °C sıcaklıklarda sırasıyla -69.1 mV, -69.6 mV, -68.1 mV, -64.1 mV değerlerindedir. QS-E örneklerinde 0. gün ortalama partikül yükü -72.3 mV ve 30, 50, 70 ve 90 °C sıcaklıklarda sırasıyla -72.1 mV, -71.0 mV, -68.4 mV, -63.7 mV olarak bulunmuştur. Her altı emülsiyonun tanecik boyutu da negatif ve tanecik yükü bakımından sıralamaları emülsiyonların 0. gün değerlerinin arasında istatistiksel olarak fark bulunmamaktadır ($p < 0.05$). Taneciklerin elektriksel yükünü ifade eden partikül yükünde önemi bir değişiklik olmaması, emülsiyonların sıcaklık artışına karşı dirençli olduğu ve yüksek termal stabiliteye sahip olduğu sonucunu ortaya çıkarmaktadır.



Şekil 5.3: Emülsiyonların partikül yükünün sıcaklığa bağlı değişimi



Şekil 5.4: Emülsiyonların ortalama parçacık boyutunun ($D_{3,2}$) sıcaklığa bağlı değişimi

5.1.3 pH etkisi

Emülsiyonların pH değişimlerine karşı dirençlerini gözlemlemek için her altı emülsiyon grubu için de pH 3, 5, 7 ortamları oluşturulmuştur. Farklı pH değerindeki ortamlarda bekletilen örnekler için partikül boyutu ve partikül yükü değerleri ölçülmüştür. Elde edilen veriler Şekil 5.5'te ve Şekil 5.6'da yer alan grafiklere aktarılmıştır.

GA-O örneklerinin 0. gün ortalama partikül boyutu $0.372 \mu\text{m}$ iken ortalama partikül yükü -36.8 mV olarak bulunmuştur. Ortam pH değişimine bağlı olarak pH 3, 5, 7 değerlerinde ortalama partikül boyutu sırasıyla $0.852 \mu\text{m}$, $0.412 \mu\text{m}$, $0.360 \mu\text{m}$ değerlerinde olup ortalama partikül yükü ise sırasıyla -33.7 mV , -35.1 mV ve -35.0 mV olarak belirlenmiştir. GA-E örneklerinin 0. gün ortalama partikül boyutu $0.324 \mu\text{m}$ ve ortalama partikül yükü -36.9 mV değerinde bulunmuştur. Örneklerin pH değişimine bağlı olarak pH 3, 5, 7 değerlerinde ortalama partikül boyutu sırasıyla $0.533 \mu\text{m}$, $0.411 \mu\text{m}$, $0.351 \mu\text{m}$ değerlerinde olup ortalama partikül yükü ise sırasıyla -33.4 mV , -34 mV ve -35.4 mV değerlerindedir. Elde edilen sonuçlara göre GA emülsiyonları için pH 7 ortamındaki partikül boyutunda önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Ayrıca ortamın asitliği arttıkça yani pH değeri düştükçe partikül boyutunun arttığı belirlenmiştir. Bu durum asidik ortamda partiküllerin bir araya gelecek kümeleşme eğiliminde olduğu anlamına gelmektedir. GA emülsiyonlarının tanecik yükü incelendiğinde ise pH değeri düştükçe partikül yükünün arttığı görülmüştür.

Eratte ve ark. Gam arabik yüzey aktif maddesinin anyonik bir polisakkarit olduğunu ve incelenen pH 2 ile 6 arasında karboksilat gruplarının negatif olarak yüklendiğini bu sebeple partikül yükünün negatif değerde olduğunu ifade etmişlerdir. Yine aynı çalışmada whey protein izolatu ile stabilize edilmiş örneklerin partikül yükünün pH 5'e kadar pozitif pH 5'ten sonraki değerlerde negatif olduğu bildirilmiştir (Tavares, 2020).

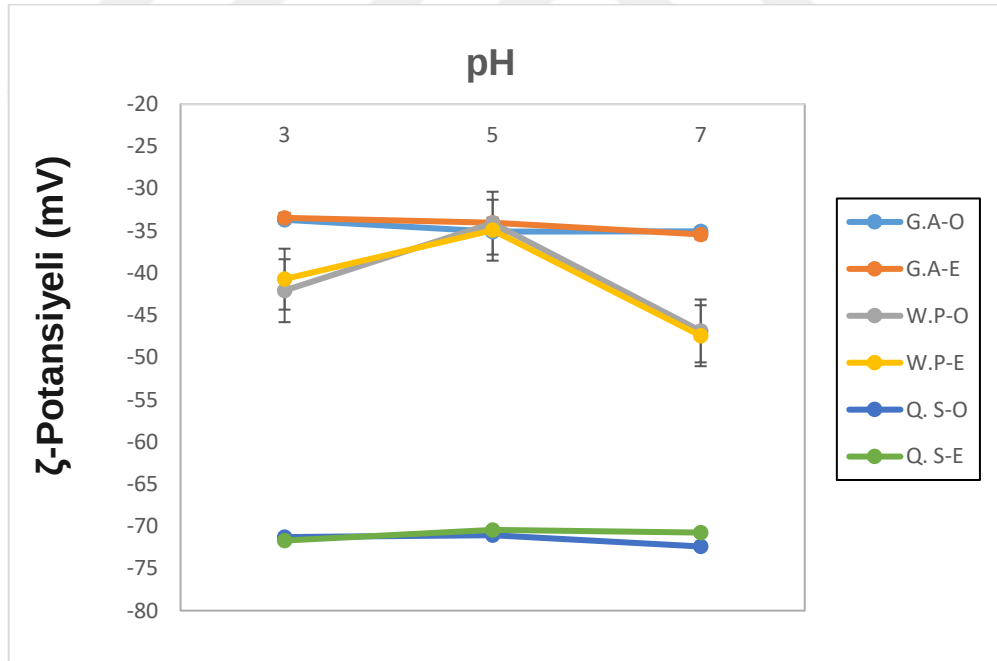
WP-O emülsiyonlarının ortam pH'sının değişiminden etkilenme durumları incelendiğinde pH 3 için ortalama partikül boyutu 0.239 µm, ortalama partikül yükü -42.1 mV ve pH 7 için ortalama partikül boyutu 0.221 µm ortalama partikül yükü -46.8 mV değerlerinde bulunmuştur. Örneklerin 0. gün değerleri ise 0.235 µm ve -47.7 mV'dur. Emülsiyonların 0. gün değerleri ile kıyasladığımızda pH 3 ve pH 7 noktalarında önemli bir değişiklik olmadığını görmekteyiz. Ancak pH 5 noktasında partikül boyutu 3.60 µm ve partikül yükü -34.1 mV olarak ölçülmüştür. WP-E emülsiyonlarında 0. gün değerleri 0.231 µm ve -46.2 mV olarak ölçülürken pH 3 ve pH 7 noktalarında partikül boyutları ve partikül yükleri sırasıyla 0.244 µm, 0.207 µm ile -40.7 mV, -47.4 mV değerlerinde bulunmuştur. Emülsiyonların bu noktada stabil olduğu ve 0. gün değerlerine yakın değerler verdikleri görülmektedir. pH 5 noktasında ise WP-O örneklerine benzer şekilde örneklerin stabil olmadığı ve partikül yüklerinde dahi ciddi değişimler olduğu görülmektedir. pH 5 noktasında partikül yükü -34.9 mV ve partikül boyutu 3.94 µm olarak hesaplanmıştır. Bu durum emülsiyonun pH 5 noktasında partikül boyutunun oldukça fazla arttığı ve hatta emülsiyonu kırıldığı sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Bu duruma pH 4.9 noktasının süt proteinlerinden kazeinin çökme noktası olmasının sebebiyet verdiği düşünülmektedir.

Yapılan bir çalışmada WP için partikül yükü $\text{pH} \leq 5$ değerlerinde pozitif, pH 6 noktasında negatif bulunmuştur. WP yapısında bulunan α -laktalbümin ve β -laktoglobulin maddelerinin izoelektrik noktaları sırasıyla pH 4.80 ve pH 5.35'tür. Whey proteinden elde edilen ana proteinlerin amfoterik yapısı hem amino (NH_2) hem de karboksil ($-\text{COOH}$) gruplarının varlığından ileri gelmektedir. Bu nedenle pH değeri pI değerinden düşük olduğunda ç potansiyeli pozitifdir. Öte yandan pH değeri pI değerinden yüksek olduğunda $-\text{COO}^-$ nun negatif yüklü kısımları NH_3^+ 'nın pozitif yüklü kısımlarını aşar ve negatif net yüke sahip olur (Tavares, 2020).

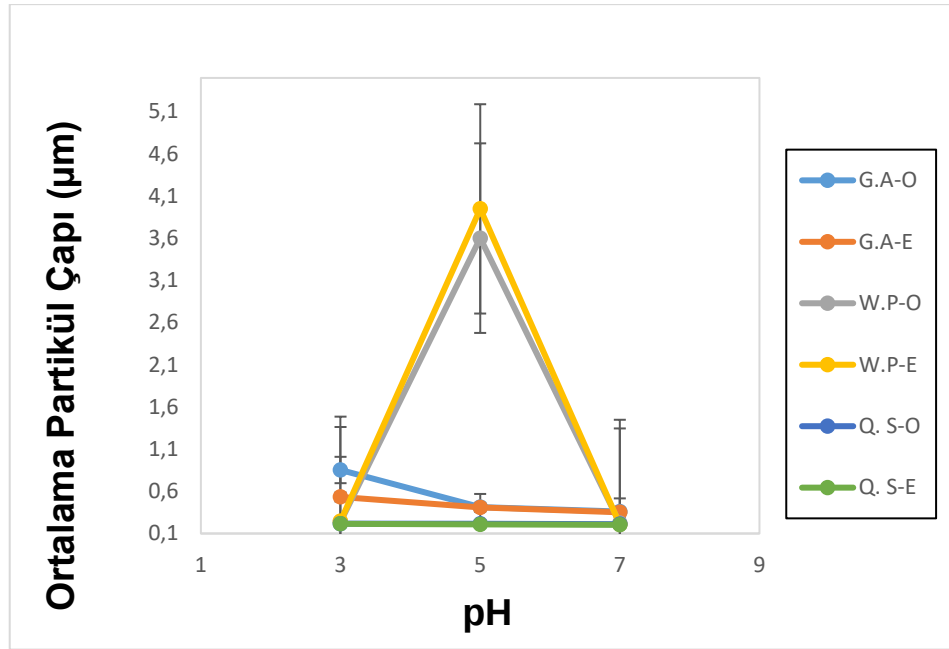
QS-O örneklerinin 0. gün partikül boyutu 0.207 µm ve partikül yükü -70.0 mV değerindedir. pH 3, 5, 7 noktalarında emülsiyonun partikül boyutları sırasıyla 0.217 µm, 0.216 µm, 0.210 µm ve partikül yükleri -71.2 mV, -71 mV, -72.4 mV'dur. QS-E örneklerinin 0.

gün partikül boyutu 0.212 μm ve partikül yükü -72.3 mV değerindedir. pH 3, 5, 7 noktalarında ise örneklerin partikül boyutları sırasıyla 0.214 μm , 0.209 μm , 0.202 μm ve partikül yükleri -71.7 mV, -70.4 mV, -70.7 mV` dur. QS ile stabilize edilen emülsiyonlar incelendiğinde pH değişimine karşı partikül boyutunda önemli bir değişiklik olmamıştır. Elektrik yükleri bakımından değişiklik irdelendiğinde benzer şekilde elektriksel yükünün de pH değişimine karşı dirençli olduğu ve emülsiyonların farklı pH ortamlarına maruz bırakılmış halleri arasında partikül yükü bakımından da önemli bir değişiklik olmadığı belirlenmiştir.

Doğal bir emülsifiyer olan Q.Saponinin emülsiyon oluşturma ve stabilize etme etkinliğinin sentetik bir emülsifiyer olan Tween 80 ile karşılaştırıldığı bir çalışmada Tween 80 ile oluşturulmuş nanoemülsiyonların partikül boyutu <150 nm, Q Saponin ile stabilize edilmiş nanoemülsiyonların partikül boyutu <200 nm değerlerinde bulunmuştur. Q.S ile stabilize edilen emülsiyonların pH (2-8), tuz konsantrasyonu (0-500 mM NaCl) ve sıcaklık (20-90 °C) değişimlerine karşı stabil olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte pH 2 ve yüksek iyonik şiddet koşullarında damlacıkların bir miktar topaklandığı rapor edilmiştir (Yang, 2012).



Şekil 5.5: Emülsiyonların partikül yükünün pH etkisine bağlı değişimi

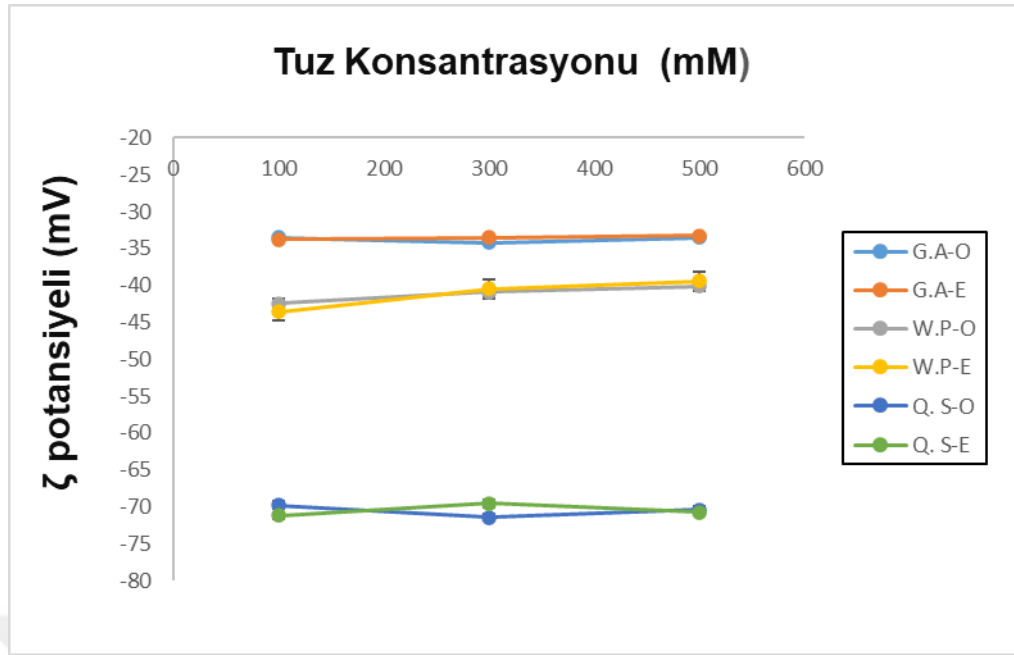


Şekil 5.6: Emülsiyonların ortalama parçacık boyutunun ($D_{3,2}$) pH etkisine bağlı değişimi

5.1.4 İyonik konsantrasyon etkisi

Emülsiyon örneklerinin iyonik konsantrasyon değişimlerinden etkilenme durumlarını incelemek amacıyla her emülsiyon örneği için 100 mM, 300 mM, 500 mM, derişimlerinde olmak üzere 3 farklı ortam hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler bir gece bekletilerek sonraki gün ölçüm alınmıştır. GA-O emülsiyonlarının 100 mM, 300 mM, 500 mM tuz derişimindeki partikül boyutları sırasıyla 0.819 μm , 1.428 μm , 1.814 μm iken partikül yükleri ise -33.5 mV, -34.1 mV, -33.5 mV `dur. 0.gün değerleri olan 0.372,3 μm ve -36.8 mV değerleri ile karşılaştırıldığında partikül boyutunun tuz konsantrasyonu arttıkça büyüdüğü görülürken partikül yükünde az da olsa bir artışı belirlenmiştir.

GA-E emülsiyonlarının 100 mM, 300 mM, 500 mM tuz derişimindeki partikül boyutları sırasıyla 0.565 μm , 1.417 μm , 1.497 μm ve partikül yükleri ise -33.7 mV, -33.5 mV, -33.2 mV değerlerindedir. GA-E örneklerinin 0. gün ortalama partikül boyutu 0.324 μm ve ortalama partikül yükü -36.9 mV değerleri ile karşılaştırıldığında yine GA-O örneklerinde olduğu gibi partikül boyutunun tuz konsantrasyonu arttıkça büyüdüğü görülürken partikül yükünde az da olsa bir artışı belirlenmiştir.



Şekil 5.7: Emülsiyonların partikül yükünün tuz konsantrasyonuna bağlı değişimi

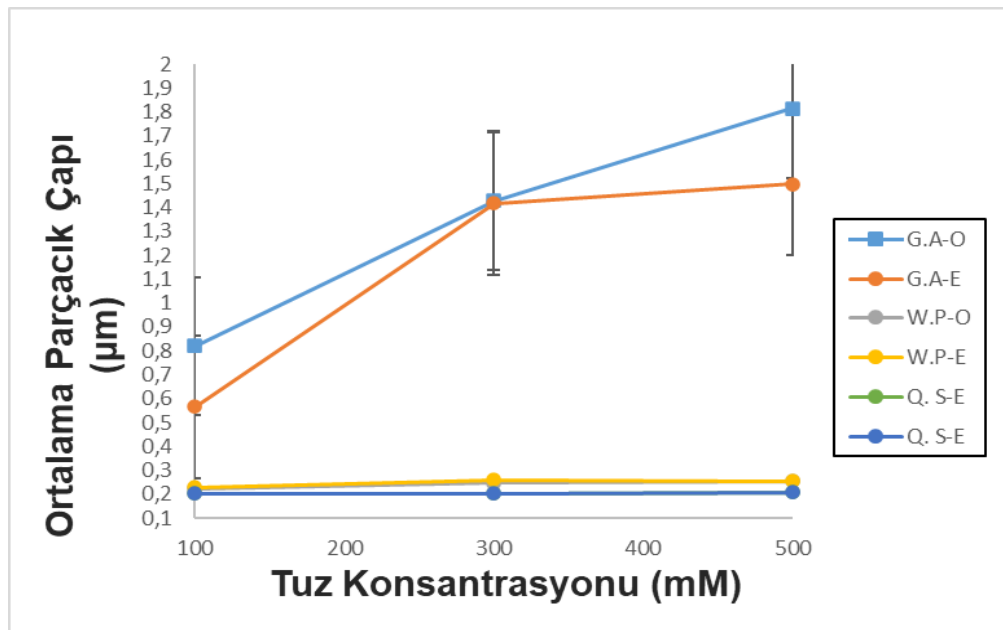
WP-O emülsiyonlarının 100 mM, 300 mM, 500 mM tuz derişimindeki partikül boyutları sırasıyla 0.223 μm , 0.248 μm , 0.255 μm iken partikül yükleri ise -42.4 mV, -40.8 mV, -40.1 mV 'dur. 0.gün değerleri olan 0.235 μm ve -45.7 mV değerleri ile karşılaştırıldığında partikül boyutunda tuz konsantrasyonu bağlı olarak önemli bir artış olmadığı görülürken partikül yükünün tuz konsantrasyonu arttıkça az da olsa arttığı belirlenmiştir.

WP-E emülsiyonlarının 100 mM, 300 mM, 500 mM tuz derişimindeki partikül boyutları sırasıyla 0.228 μm , 0.259 μm , 0.254 μm iken partikül yükleri ise -43.5 mV, -40.4 mV, -39.4 mV 'dur. 0.gün değerleri olan 0.231 μm ve -46.2 mV değerleri ile karşılaştırıldığında partikül boyutunun tuz konsantrasyonu bağlı olarak ciddi bir değişikliğe uğramadığı görülürken partikül yükünde tuz konsantrasyonu ile paralel olarak bir miktar artış olduğu belirlenmiştir.

QS-O emülsiyonlarının 100 mM, 300 mM, 500 mM tuz derişimindeki partikül boyutları sırasıyla 0.216 μm , 0.210 μm , 0.201 μm iken partikül yükleri ise -69.7 mV, -71.4 mV, -70.4 mV 'dur. 0.gün değerleri olan 0.207 μm ve -70.0 mV değerleri ile karşılaştırıldığında partikül boyutunda ve partikül yükünde tuz konsantrasyonu etkisiyle istatistiksel olarak önemli bir artış olmadığı görülmektedir.

QS-E emülsiyonlarının 100 mM, 300 mM, 500 mM tuz derişimindeki partikül boyutları sırasıyla 0.202 μm , 0.203 μm , 0.208 μm iken partikül yükleri ise -71.2 mV, -69.5 mV, -70.7 mV'dur. 0.gün değerleri olan 0.212 μm ve -72.3 mV değerleri ile karşılaştırıldığında partikül yükü ve partikül boyutunu tuz konsantrasyonundaki artış karşısında çok fazla değişmediği ve stabil yapıda olduğu belirlenmiştir.

İyonik şiddet artışı karşısında WP ile oluşturulan emülsiyon örnekleri incelendiğinde partikül boyutunda bir miktar artış görülmüştür (Şekil 5.8). Ancak artış GA örneklerinde olduğu kadar fazla değildir. Partikül yükü değişimi incelendiğinde ise tuz konsantrasyonu artışı ile partikül yükünün de küçük bir miktar artış gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 5.7). Tuz konsantrasyonunun değişimi yönünden QS emülsiyonlarının partikül boyutu ve partikül yükü incelendiğinde partikül boyutu ve partikül yükünde önemli bir değişiklik olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 5.8, Şekil 5.7). Her üç yüzey aktif madde ve iki farklı yöntem göz önünde bulundurulduğunda iyonik şiddet değişiminden en az etkilenen örneklerin QS ile oluşturulan emülsiyonlar olurken en fazla etkilenen emülsiyon örneklerinin GA ile elde edilmiş örnekler olduğu görülmüştür. Sonuçlar incelendiğinde iyonik şiddetin artmasına bağlı olarak GA yüzey aktif maddesi ile stabilize edilen emülsiyonların partikül boyutu önemli ölçüde artış göstermiştir (Şekil 5.8). İyonik şiddet artışı karşısında partikül yükünün durumu da partikül boyutuna benzer olarak iyonik konsantrasyona bağlı olarak artış göstermiştir (Şekil 5.7).



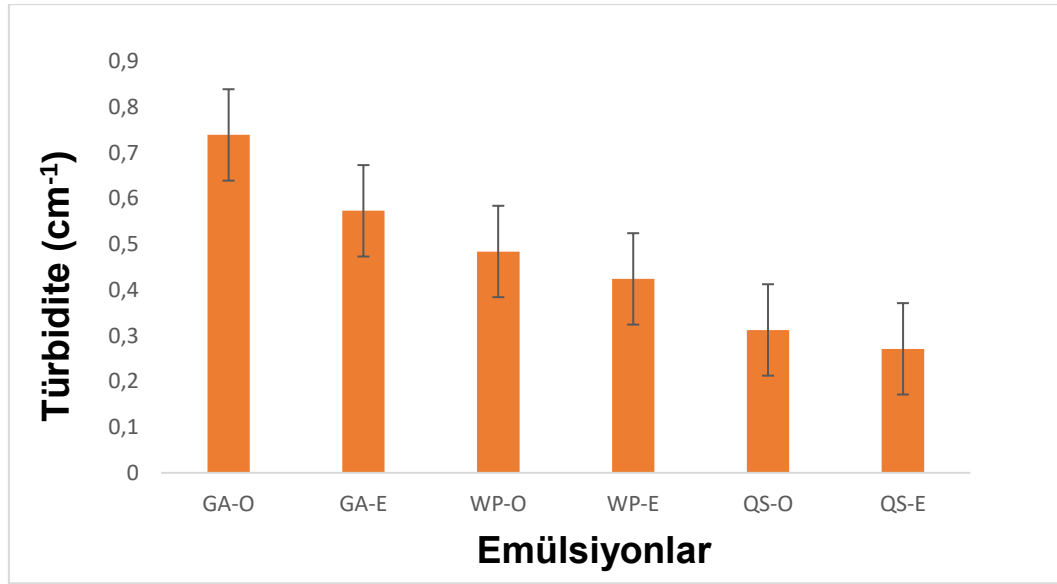
Şekil 5.8: Emülsiyonların ortalama parçacık çapının ($D_{3,2}$) tuz derişimine bağlı değişimi

Doğal yüzey aktif maddeler olan Q.Saponin ve Lesitin kullanılarak E vitamini ile zenginleştirilmiş nanoemülsiyonlar oluşturulmuş ve fizikokimyasal özellikleri karşılaştırılmıştır. Çalışma neticesinde Q.Saponin ile stabilize edilmiş nanoemülsiyonların pH ve tuz konsantrasyonu artışına daha dirençli olduğu bildirilmiştir. Ayrıca her iki yüzey aktif madde ile oluşturulan nanoemülsiyonların da sıcaklık artışına karşı stabil olduğu sonucu rapor edilmiştir (Öztürk, 2014).

5.1.5 Bulanıklılık (Türbidite)

Işık dalgaları emülsiyondan geçerken emülsiyonda bulunan parçacıklar ışığın farklı birçok dalga boyunda saçılımını sağlar ve ışık emülsiyon içine çok fazla nüfuz edemez. Bu durum emülsiyonların opak görünmesine neden olmaktadır. Bulanıklık birçok gıda için önemli bir kalite olup, gıdanın görünüşünün ilgi çekici ve tercih edilebilir olmasını sağlamada kullanılmaktadır. Emülsiyonlarda bulanıklılık parçacık boyutuna, yağ konsantrasyonuna ve parçacıkların refraktif indeksine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Öztop, 2016)

Çalışmada oluşturulan emülsiyon örnekleri için bütün bileşen ve hazırlama yöntemleri aynıyken sürfaktanlar farklıdır. Emülsiyonların türbidite değerleri Şekil 4.20'deki grafikte verilmiştir. Bulanıklılık değerleri GA-O, GA-E, WP-O, WP-E, QS-O, QS-E örnekleri için sırasıyla 0.739 cm^{-1} , 0.573 cm^{-1} , 0.484 cm^{-1} , 0.424 cm^{-1} , 0.312 cm^{-1} , 0.271 cm^{-1} olarak bulunmuştur. Oluşturduğumuz nanoemülsiyonların partikül boyutu kıyaslandığında $\text{GA} > \text{WP} > \text{QS}$ olarak sıralandığını görmekteyiz (Şekil 5.9). Türbidite değerlerine baktığımızda en büyük değer GA ile stabilize edilmiş emülsiyonlarda görülürken en küçük türbidite değeri QS ile stabilize edilmiş örneklerle aittir. Bu durumda partikül boyutu artışı ile türbidite değerinin arttığı görülmektedir. Yüksek basınçlı işleme ve yüksek yoğunluklu ultrason yöntemleriyle oluşturulan peynir altı suyu proteini/kanola yağı nanoemülsiyonlarının bir haftalık depolama boyunca damlacık boyutu, bulanıklılığı ve lipid oksidasyonu üzerindeki etkisinin incelendiği bir çalışmada damlacık boyutu ile bulanıklılık artışı arasında pozitif bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışmada en büyük damlacık boyutuna sahip nanoemülsiyonun bulanıklılık değerinin en yüksek olduğu bildirilmiştir (Ceylan, 2022). Elde ettiğimiz sonuçlar literatürde yer alan sonuçlarla uyumaktadır.



Şekil 5.9: Emülsiyonların bulanıklık (türbidite) değerleri (pH 7 fosfat tamponu ile 1:500 kez seyreltilerek ölçüm alınmıştır.)

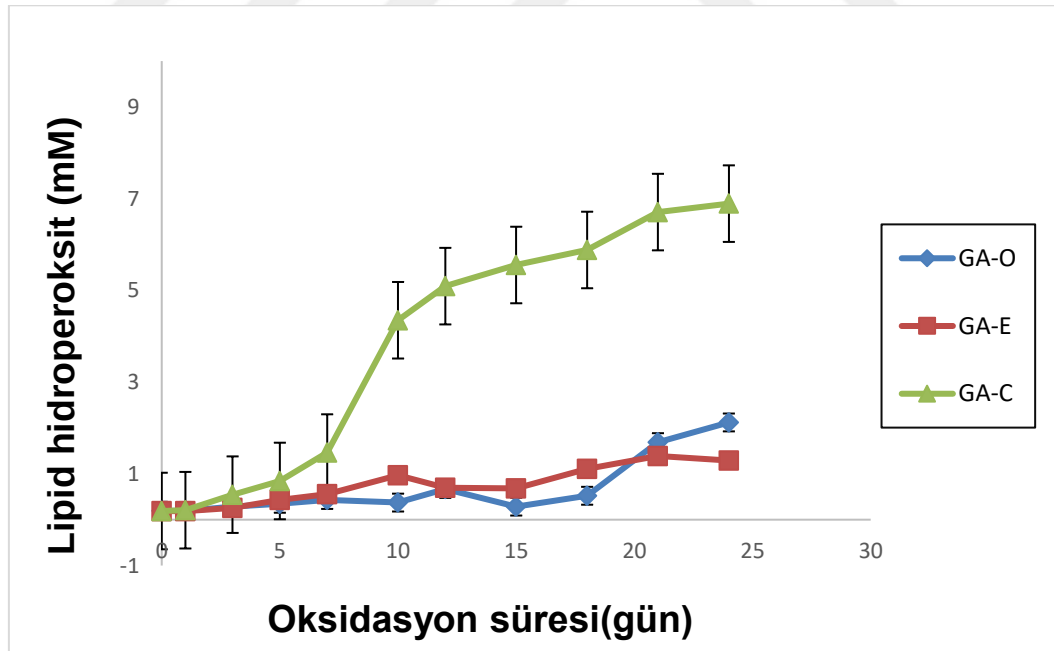
5.2 Oksidatif Stabilité Testleri

Yapay veya doğal sürfaktanlar ile stabilize edilen emülsiyon sistemlerinde lipit oksidasyonu yağ-su ara yüzeylerinde meydana gelmektedir. Oksidasyon reaksiyonları birbirini izleyen tepkimeler olup hem bir kalite kriteri hem de zararlı bileşenler ortaya çıkarıyor olması sebebiyle kontrol altına alınması gerekli olan reaksiyonlardır (Berton, 2022).

Peroksit Sayısı yağların oksidatif bozulma seviyesini belirlemede yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Peroksit Sayısı tayini ile oksidasyon birincil ürünleri olan hidroperoksit miktarı belirlenmektedir. Ancak oksidasyon reaksiyonları devam ettiği için hidroperoksitler ikincil oksidasyon ürünlerine dönüşmektedir ve bu sebeple yağların oksidasyon düzeyine karar vermek için ikincil oksidasyon ürünlerinin tayin edildiği TBA Sayısı Analizi ve Peroksit Sayısı Analizi beraber yapılarak oksidasyon düzeyine karar vermek gerekmektedir.

Çalışmanın oksidatif stabilite testleri birincil ve ikincil oksidasyon ürünlerinin tayinine yönelik analizleri kapsamaktadır. Birincil oksidasyon ürünlerini belirlemek için peroksit sayısı analizi yapılırken ikincil oksidasyon ürünlerinin tayini için TBARS analizi yapılmıştır. Bu amaçla emülsiyonlar oluşturulduktan sonra kapaklı cam tüplerde 37 °C 'de 25 gün bekletilerek belirli periyotlarda her iki analiz yapılarak sonuçlar grafik haline getirilmiştir.

GA-C emülsiyonunun peroksit değerine bakıldığında peroksit değerinin 3. günden itibaren belirgin bir şekilde artmaya başladığı ve 7. günden itibaren bu artışın dramatik şekilde devam ettiği görülmektedir (Şekil 5.10). GA-O emülsiyonunda ise peroksit değerinde ise 15. güne kadar yavaş oranda bir artış görülürken 18. günden itibaren peroksit değerindeki artışın belirgin olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5.10). GA-E emülsiyonunun peroksit değeri 25. güne kadar yavaş oranda artmaya devam etmiş ve peroksit değeri takip edilmiş oksidasyon süresi boyunca 1.5 mM'ın altında kalmıştır (Şekil 5.10). GA-C emülsiyonlarının TBARS sayısı 3. günden itibaren belirgin şekilde artmaya başlamış ve 10. günden itibaren dramatik bir şekilde artmaya devam etmiştir (Şekil 5.11). GA-O ve GA-E emülsiyonlarının TBARS sayıları 7. Güne kadar yavaş oranda artmaya devam etmiş ve 7. günden itibaren daha yüksek oranda arttığı belirlenmiştir (Şekil 5.11). Elde edilen sonuçlara göre zencefil içeren GA-O ve GA-E emülsiyonlarının zencefil içermeyen kontrol grubu emülsiyonu, GA-C emülsiyonuna göre daha iyi oksidatif stabilite gösterdiği belirlenmiştir. Emülsiyonların oksidatif stabilitesi üzerinde zencefilin yağ fazına ve su fazına eklenmesi ile ilgili önemli bir farklılık olmadığı her iki durumda da zencefilin oksidatif stabiliteyi arttırdığı görülmektedir.

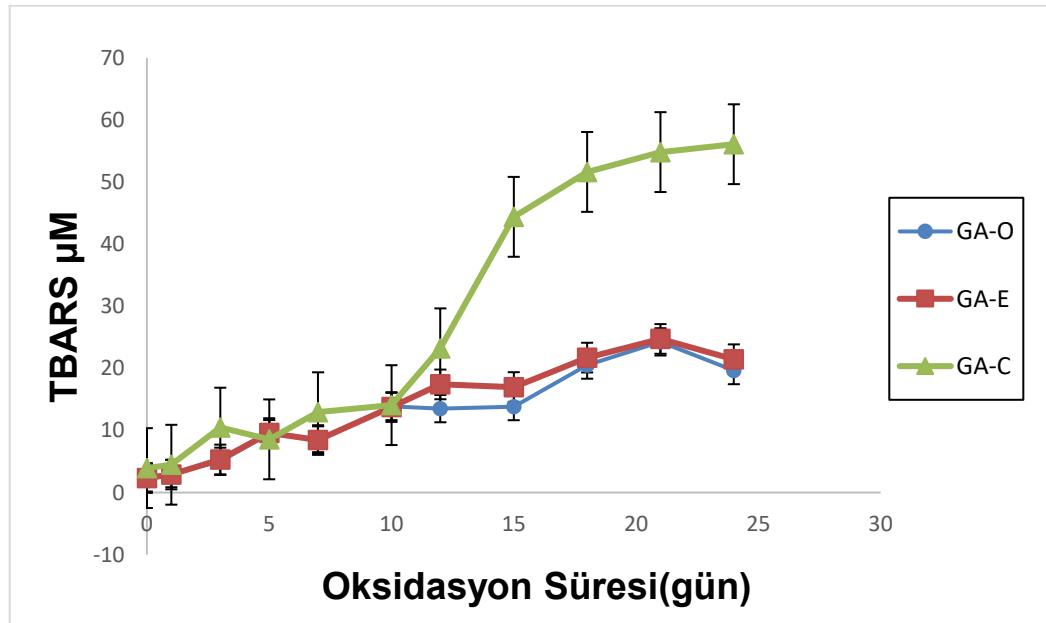


Şekil 5.10: GA ile stabilize edilmiş emülsiyonların 37 °C'de depolama boyunca peroksit sayısı değerleri

Yapılan bir çalışmada gingerollerin 37 °C`de 1 ila 7 arasında bir pH aralığında stabil olduğunu ancak 60 °C üzeri sıcaklıklarda bozunmaya başladığını ayrıca sulu çözeltide 6-gingerol pH 4 ve 37 °C`de maksimum stabilite gösterdiğini bildirmişlerdir (Simon-Brown, 2016).

Tonon ve ark. (2012), gam arabik, peynir altı suyu konsantresi ve modifiye nişasta kullanarak keten tohumu yağını farklı yağ konsantrasyonlarında (%10, %20, %30 ve %40) kapsülleyerek yaptıkları çalışmada yağ konsantrasyonunun artmasıyla emülsiyon partikül büyüklüğünün arttığını, viskozitenin azaldığını, enkapsülasyon etkinliğinin düştüğünü ve yağ oksidasyonunun arttığını belirlemişlerdir. Kapsüllemede kullanılan 3 kaplama materyali arasında ise modifiye nişasta ile enkapsüle edilen keten tohumu yağının en iyi mikroenkapsülasyon etkinliğine ve oksidasyon yönünden en düşük peroksit sayısına sahip olduğunu rapor etmişlerdir (Tonon ve diğ., 2012)

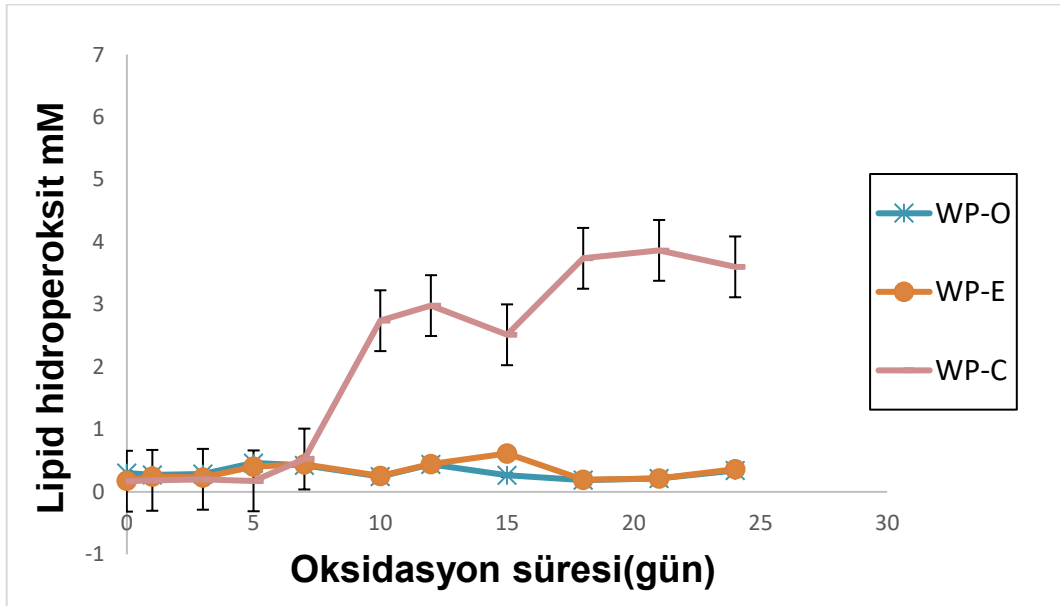
Fuchs ve ark. (2006) bitkisel yağ karışımının enkapsülasyonunda 3/2 oranında malto-dekstrin/gam arabikten oluşturulan emülsiyona %5 yağ eklenmesiyle elde edilen mikrokap-süllerin yüzey yağını ölçmüş ve sadece %2 oranında yüzey yağ belirlemişlerdir. Enkapsüle ettikleri yağın 60°C`de 8 hafta depolayarak ölçümler almış ve enkapsüle edilmiş yağın serbest formdaki yağa oranla daha stabil olduğunu bildirmişlerdir (Özen, 2014).



Şekil 5.11: GA ile stabilize edilmiş emülsiyonların 37 °C`de depolama boyunca TBA sayısı değerleri

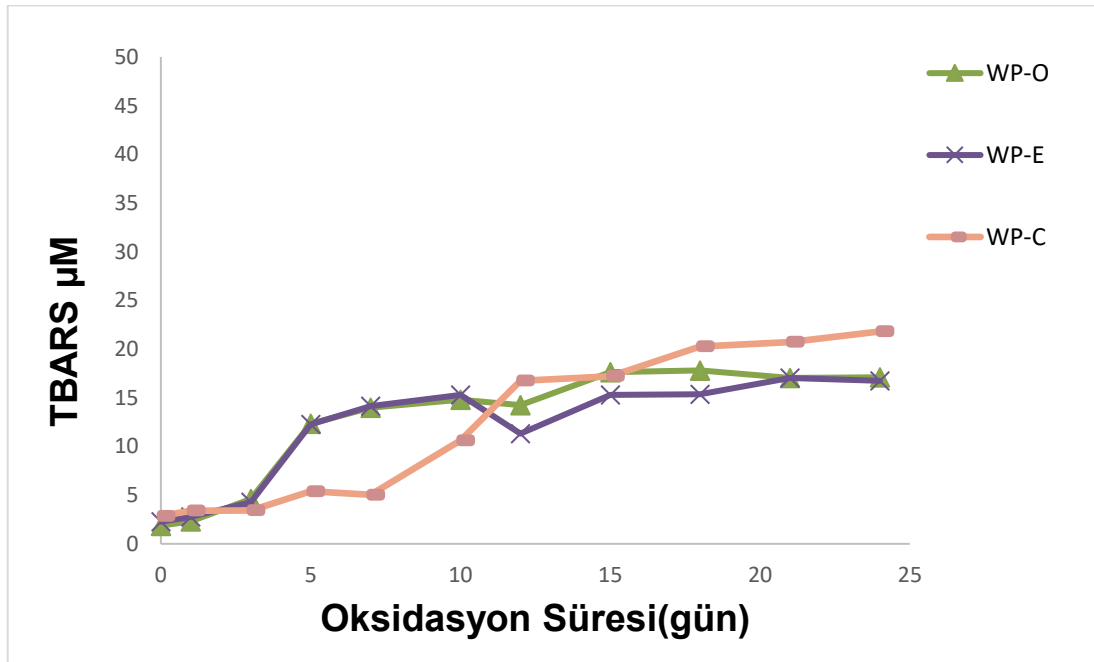
Whey protein izolatu ile stabilize edilen emülsiyon grupları peroksit değeri ve TBA Sayıları yönünden incelendiğinde; WP-O ve WP-Y nanoemülsiyonlarının peroksit düzeyi yönünden 24 günlük depolama boyunca küçük artışlar dışında büyük bir artış göstermediği stabil kaldığı ancak bunların aksine WP-C grubunun peroksit sayısının 7. Günden itibaren dramatik artış gösterdiği ve 21. gün maksimum seviyeye ulaştığı görülmektedir (Şekil 5.12). Zencefil içeren WP-O ve WP-E emülsiyonlarının peroksit değeri 24 günlük depolama süresince kontrol grubu emülsiyonu WP-C emülsiyonunun peroksit değeri artışıyla oranla oldukça düşük olduğu görülmektedir. WP-O ve WP-E emülsiyonlarının peroksit değeri 24 günlük depolama boyunca 1 mM' ın altında kalmıştır.

TBA Sayısı yönünden incelendiğinde WP-O ve WP-E nanoemülsiyonlarının 3. gün dramatik artış gösterdiği ve daha sonra TBA sayısında günlere bağlı olarak artış ve azalmalar olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.13). WP-C grubunun ise TBARS sayısının 3. günden itibaren belirgin şekilde arttığı ve 7. günden itibaren dramatik bir artışın olduğu görülmektedir. Ayrıca WP-C emülsiyonlarının TBA sayısında 12. gün ile 15. gün arasında artışın belirgin olmadığı ancak 15. günden sonra belirgin bir artışın olduğu ve artışın 24. güne kadar devam ettiği görülmektedir (Şekil 5.13).



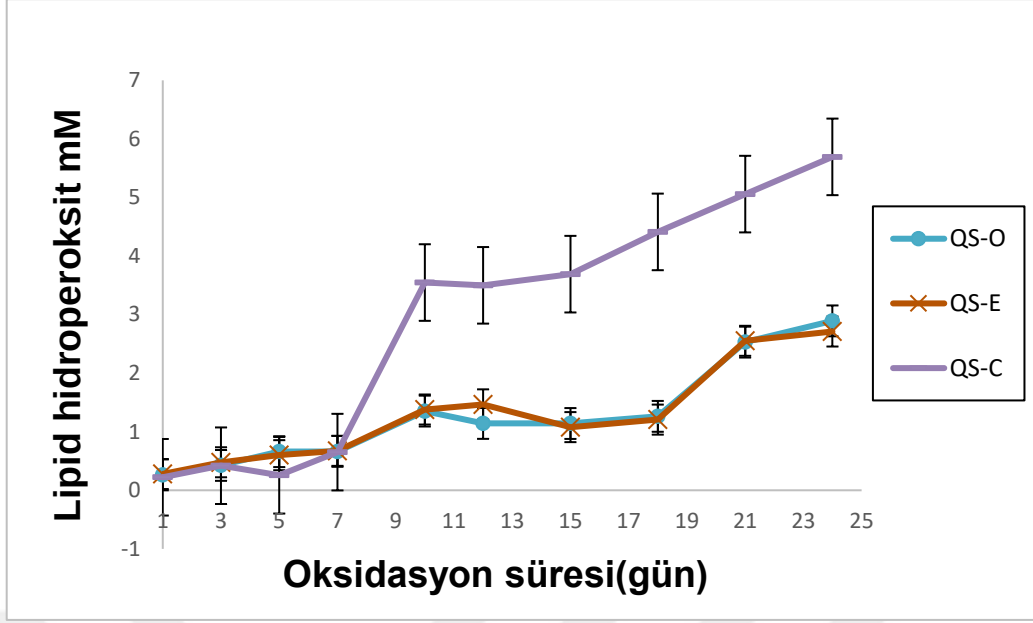
Şekil 5.12: WP ile stabilize edilmiş emülsiyonların 37 °C'de depolama boyunca peroksit sayısı değerleri

Peynir altı suyu proteinleri peynir endüstrisinden yan ürün olarak elde edilmektedir. Peynir altı suyu proteinleri, kazeinatın pıhtılaştırılmasından sonra geriye kalan β -laktoglobulin, α -laktalbumin, bovin serum albümini ve immünoglobulinler çeşitli proteinlerin bir karışımından oluşmaktadır. Hidrofilik yapıdadırlar, kendiliğinden bağlanma, yüksek yüzey aktivitesi ve iyi jelleşme özellikleri göstermektedir. Globüler proteinlerdir ve suda rahatlıkla çözünebilirler. İyonik oldukları için elektrostatik etkileşimlere geçebilirler. Ayrıca pH 4.7-5.0 aralığı izoelektrik noktalarıdır ve bu değerlerde çözünmezler (Tatlisu, 2019).



Şekil 5.13: WP ile stabilize edilmiş emülsiyonların 37 °C`de depolama boyunca TBA sayı değerleri

α -linoleik asidin kapsüllenmesi için matriks (taşıyıcı) ve emülsiyon stabilize edici olarak peynir altı suyu proteini ve soya proteinlerinin kıyaslandığı bir çalışmada; her iki protein de başarılı bir şekilde enkapsülasyon etkinlik değeri (%60) göstermiştir. Ancak çalışmada serbest α -linolenik asit, peynir altı suyu proteinleri içinde %67, soya proteinleri içinde ise %43'e varan oranlarda bozulmadan stabil kaldığı bildirilmiştir (Tatlisu, 2019).



Şekil 5.14: QS ile stabilize edilmiş emülsiyonların 37 °C`de depolama boyunca peroksit sayısı değerleri

Q.Saponin ile stabilize edilen emülsiyonların lipid peroksit düzeyleri incelendiğinde QS-O ve QS-E emülsiyonlarının 7. Güne kadar belirgin şekilde artış olduğu ve 7. Günde dramatik bir artış olduğu görülmektedir. Emülsiyonların 10. Günden sonraki peroksit düzeylerine bakıldığında belirgin artış ve azalmalar görülürken 18. Günde dramatik bir artış olduğu Şekil 5.14`te görülmektedir.

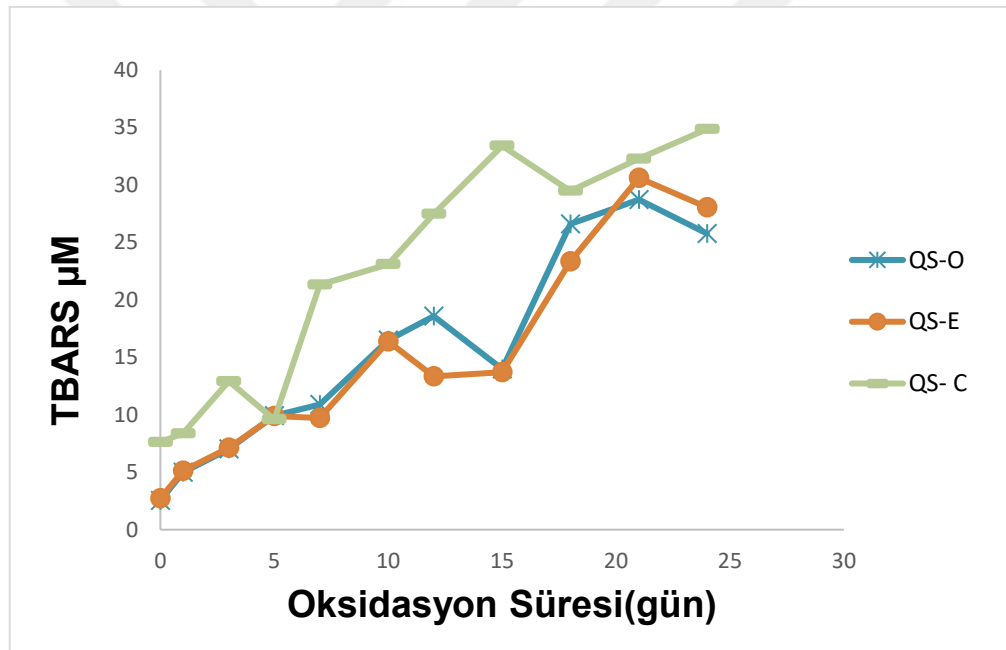
QS-C grubunun lipid peroksit düzeyine baktığımızda yine QS-O ve QS-E emülsiyonlarıyla benzer şekilde 7. Güne kadar belirgin bir artış olduğunu söyleyebiliriz. 7. Günde de QS-O ve QS-E örneklerine benzer şekilde dramatik bir artış görülmektedir. Ancak bu artış oranı QS-O ve QS-E emülsiyon örneklerine göre oldukça fazladır. Emülsiyonun 10. Günden sonraki peroksit düzeyi de dramatik şekilde artış göstermeye devam etmektedir.

QS grubu emülsiyonların TBA Sayısı miktarına bakıldığında her üç grubun peroksit düzeyinde benzer şekilde artış ve azalmalar olduğu görülmektedir. TBA Sayısı miktarı yönünden QS-C grubunda depolama boyunca daha belirgin artış olduğu ve QS-O ve QS-E emülsiyonlarının miktar yönünden de birbirine oldukça yakın seyrettiği gözlenmektedir (Şekil 5.15).

Zencefil eklenmiş QS-O ve QS-E örnekleri, kontrol grubu olan QS-C emülsiyonları ile oksidasyon stabilitesi bakımından kıyaslandığında özellikle peroksit sayısı yönünden QS-O ve QS-E emülsiyonlarının daha stabil olduğu görülmektedir. Ancak TBA sayısı kıyaslama

yapıldığında peroksit sayısındaki bariz farklılık görülmemektedir. Emülsiyonların depolama boyunca sıcaklığa maruz bırakılmış olması özellikle zencefilin yapısında bulunan uçucu bileşenlerin, biyoaktif maddelerin zamanla zarar görmesine ve etkilerini kaybetmelerine sebep olmaktadır.

Cai ve ark. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada zencefil esansiyel yağından emülsifikasyon yöntemi ile gıdalara uygun filmler oluşturulmuş ve bu filmlerin oksidasyon durumu incelenmiştir. Zencefil esansiyel yağı içeren emülsiyonların 4 °C depolama boyunca oksidasyonu engelleme durumunun erken dönemlerde özellikle 6. Günden önceki günlerde bariz olduğunu ancak depolama süresinin uzamasıyla yavaş yavaş zayıfladığını bildirmişlerdir. Bunun nedeninin membrandan salınan zencefil esansiyel yağı konsantrasyonunun giderek azalması ve etin nemi nedeniyle filmlerin oksijene karşı bariyer etkinliğinin azalması olduğu düşünülmektedir (Cai ve diğ., 2020).



Şekil 5.15: Q.S ile stabilize edilmiş emülsiyonların 37 °C`de depolama boyunca TBA sayısı değerleri

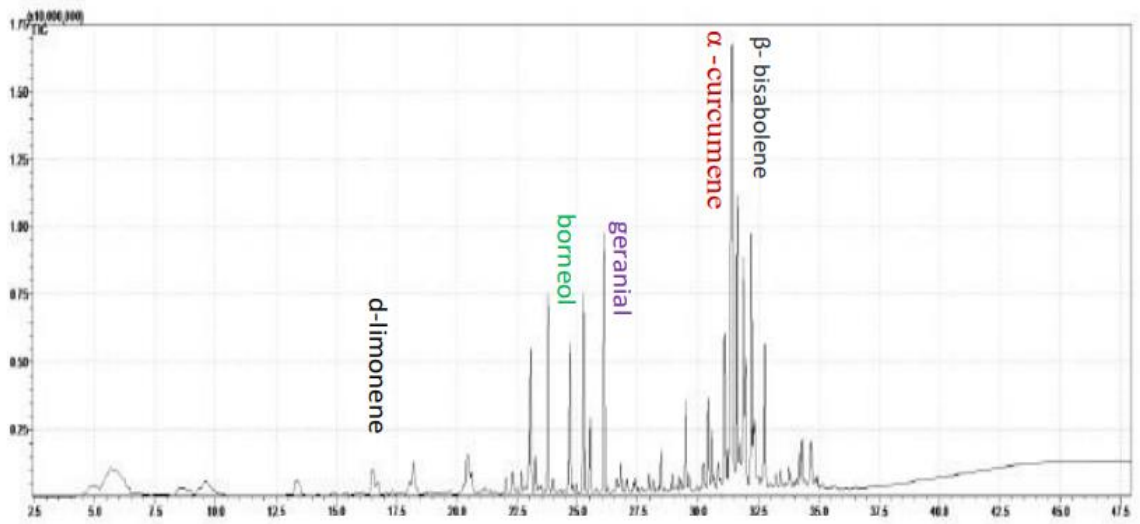
Yedi farklı bitki ekstraktının ayçiçek yağının oksidasyonunu önleme durumunun değerlendirildiği bir çalışmada ayçiçeği yağı örnekleri 25, 50 ve 75 °C`lerde 21 gün boyunca hızlandırılmış oksidasyona maruz bırakılmıştır. Çalışma neticesinde zencefil ekstraktının ikincil oksidasyon ürünlerinin oluşumunu engellemede etkili olduğu sonucu elde edilen veriler arasındadır (Tabar ve Baştürk, 2018).

Zeytinyağının kapsüllenmesi üzerine yapılan bir çalışmada, kapsüllenmiş ve serbest formdaki zeytinyağı örnekleri 20 °C – 37 °C arasında 1 ay depolanarak analizler yapılmıştır. Çalışmada kapsüllenmiş zeytinyağı örneklerinin oksidatif stabilitesinin arttığı ve kapsülasyon sırasında ortama eklenen kafeik asidin de oksidasyon stabilitesini olumlu etkilediğini bildirmişlerdir (Özen, 2014).

Genel olarak bakıldığında GA, WP, QS ile stabilize edilmiş emülsiyonlarda bulunan zencefilin yağ fazına ve su fazına eklenmesinin oksidatif stabilite üzerinde önemli bir farklılık oluşturmadığı görülmektedir. Oksidatif stabiliteyi artırma yönü ile incelediğimizde peroksit sayısı yönünden daha stabil yapı kazandırıldığı görülmektedir. Ancak TBA sayısı değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle depolama süresi attıkça TBA sayısının dramatik şekilde arttığı belirlenmiştir. Zencefil esansiyel yağı salınımının zamanla azalmasının oksidatif stabiliteyi azalttığı düşünülmektedir. Emülsiyonlara zencefil ilavesinin bütün emülsiyon örneklerinde oksidatif stabiliteyi arttırdığı görülmektedir. Peroksit sayısı yönünden emülsiyonların sıralaması QS>GA>WP iken oksidatif stabilite yönünden sıralama WP>GA>QS şeklindedir.

5.3 Zencefil kokusunun maskelenmesi

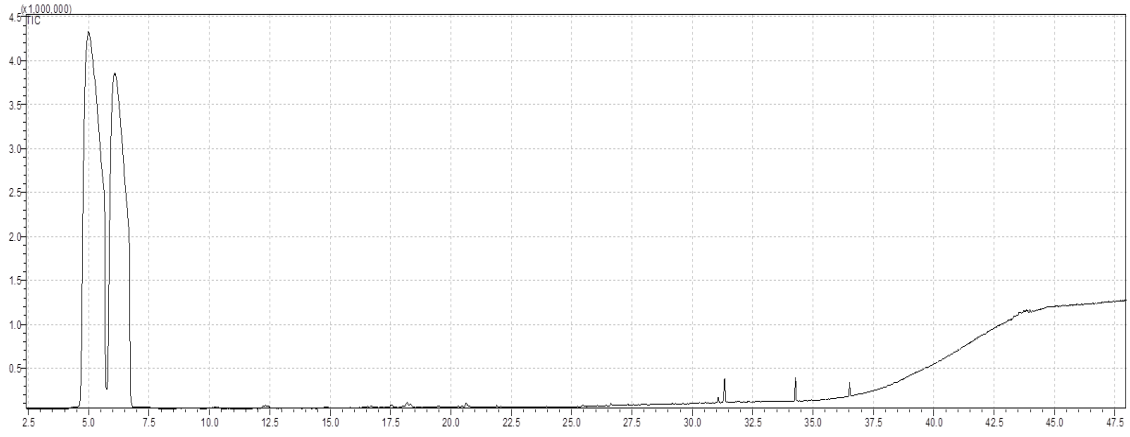
Zencefilin kendine has keskin kokusunun maskelenmesi daha fazla tüketiciye hitap etmesinin sağlanması yönüyle oldukça önemlidir. Sayısız faydasına rağmen keskin tat ve aroması sebebiyle tercih edilmemektedir. Çalışma kapsamında ilk uygulamalarda yağ fazı olarak zeytinyağı kullanılmış fakat zeytinyağı ile oluşturulmuş emülsiyon örneklerinde tat ve kokunun maskelenemediği belirlenmiştir. Bu sebeple bir başka alternatif olan keten tohumu yağı kullanılmış ve kokunun absorplandığı belirlenmiştir. Kokunun absorplanma durumu GC-MS cihazı ile belirlenmiştir.



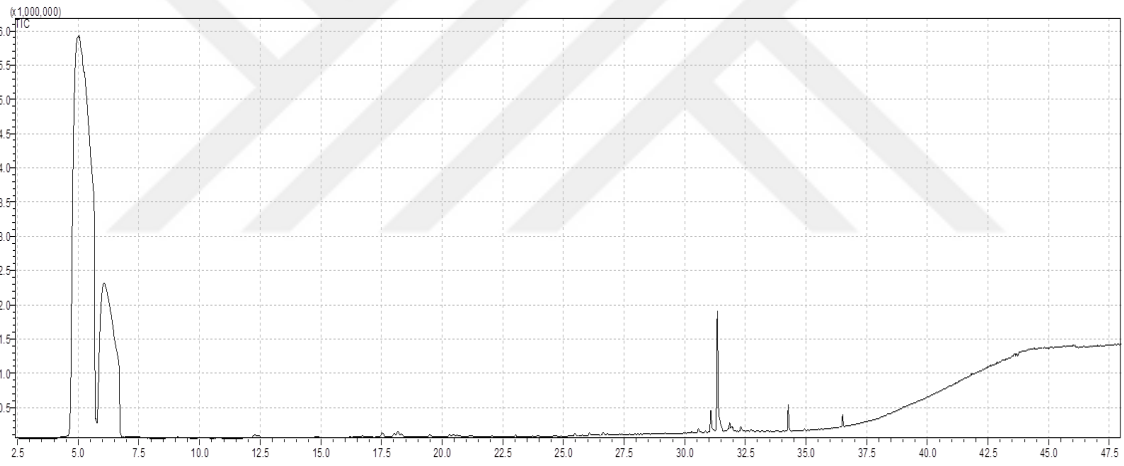
RET TIME	YÜZDE ALAN	ADI
16.479	2.46	sülkatone
18.177	3.01	d-limonene
20.467	2.44	linalool
23.024	2.38	borneol
23.753	2.91	α - terpinol
26.072	2.56	geranial
31.355	4.85	α - curcumene
31.577	2.26	sesquithujene
31.851	3.14	β bisabolene
32.175	2.05	β Sesquiphellandrene

Şekil 5.16: Zencefil bileşenlerinin GC-MS'te alıkonma süreleri ve uçucu yağ kompozisyonu (100 mg zencefil)

Zencefil uçucu bileşenlerinin kompozisyonu GC-MS cihazında alıkonma sürelerine bağlı olarak belirlenmiştir (Şekil 5.16). Aynı oranda zencefil tozu içeren GA-O ve GA-E emülsiyonları da GC-MS cihazına verilerek uçucu yağ bileşenlerinin kompozisyonları belirlenmiştir. Bileşenlerin pik büyüklüğü ve yoğunluğu göz önünde bulundurulduğunda baskın bileşenler olan Geranial, Bisabolene, Sesquiphellandrene, Benzene (1-(1,5-dimethyl-4-hexenyl)-4-methyl- ar-Curcumene) gibi bileşenlerin GA-O (Şekil 5.17) ve GA-E (Şekil 5.18) emülsiyonlarında aynı sürelerde pik vermediği ve bileşenlerin maskelendiği görülmektedir. Bu durum çalışma amacına ulaşıldığını, zencefil koku ve aromasının baskılandığını ve tüketilebilirliğinin arttığını göstermektedir.



Şekil 5.17: GA-O emülsiyonunun GC-MS `te verdiği yağ asidi kompozisyonu (emülsiyon 100 mg zencefil içermektedir)



Şekil 5.18: GA-E emülsiyonunun GC-MS `te verdiği yağ asidi kompozisyonu (emülsiyon 100 mg zencefil içermektedir)

Zencefil baskın bileşenlerinin maskelenmesi oldukça yararlı bir kaynak olan bitkinin tüketiminin artması adına önemli bir sonuçtur. Bu yönde yapılan çalışmalar zencefilin kokusunun maskelendiği fonksiyonel gıdalar tasarlanması adına güncel veriler elde edilmesini sağlamaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Baharat ve fitokimyasalların alımını arttırmak için gıdaya entegre edilmelerine dayalı yaklaşımlar, kronik hastalıkların, oksidatif stresin ve yaşlanmanın başlangıcı ile ilerlemesini büyük ölçüde etkileyebilecek potansiyele sahiptir. Yapılan çalışmalar geleneksel olarak kullanılan baharatların belirlenen dozlarda diyetlerin parçası olarak kullanıldığında insan sağlığı üzerinde bütünsel etkileri olduğunu göstermektedir. (Krishnaswamy MD, 2008)

Zencefil yapısında biyoaktif yönden zengin bileşenler barındırmaktadır. Geçmişten günümüze özellikle Asya’da sağlığa olumlu etkileri nedeniyle kullanılmaktadır. Kendine has tat, koku ve aromaya sahiptir. Bu keskin tat ve aroma herkes tarafından tercih edilmemektedir. Ayrıca bitkinin yapısında bulunan biyoaktif maddeler; non-polar, suda çözünürlüğü düşük ve stabil olmayan yapıdadır. Bu sebepler zencefil kullanımını yaygınlaştırmak amacıyla farklı yöntemler üretilmesini zorunlu hale getirmektedir. Tüm bu nedenlerden dolayı bu tez kapsamında biyoaktif maddelerce zengin bitkisel kaynaklar (zencefil, keten tohumu yağı) kullanılarak sağlığı destekleyici model bir gıda ürünü oluşturmak için emülsiyonlar oluşturulmuştur. Oluşturulan emülsiyon sistemleri ile zencefil biyoaktif maddelerinin ve yağ fazı olarak kullanılan keten tohumu yağının oksijene, ışığa teması azaltılmış olacağından okside olma hızları serbest formlarına göre çok daha yavaş olmaktadır. Ayrıca zencefilin kendine has kokusu maskelenmiş olacaktır.

Çalışmada yöntem ve kullanılacak maddelerin standardize edilmesi amacıyla yapılmış olan ön çalışmalarda yağ fazı olarak zeytinyağı kullanılmıştır. Ancak zeytinyağının kullanıldığı emülsiyonlarda zencefil baskın kokusunun maskelenmediği ve kokunun hala yoğun olarak alındığı sonucuna ulaşılmıştır. Bir diğer alternatif olan keten tohumu yağı ile ilgili yapılan ön çalışmalarda zencefil kokusunun maskelendiği tespit edilmiştir. Çalışmada zencefilin emülsiyonlara dahil edilmesi bakımından iki farklı yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemlerden ilki zencefili non-polar yağ fazına diğeri ise nispeten polar emülsiyon formuna eklenmesidir. Bu iki farklı yöntemle zencefil biyoaktif maddelerinin yağ fazında ve emülsiyonda çözünme durumu ile biyoaktif maddelerin çözücülere geçme oranına bağlı olarak emülsiyonların oksidasyon durumunun incelenmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında zencefil biyoaktif bitkisi ile keten tohumu yağı, doğal surfaktanlar ile stabilize edilerek emülsiyonlar üretilmiştir. Emülsiyonlar ile biyoaktif maddeler enkapsüle edilmiş böylelikle daha stabil bir yapı kazandırılması hedeflenmiştir. Yürütülen

çalışmada yalnızca biyoaktif maddelerin korunması değil aynı zamanda bitkinin esansiyel ve aromatik bileşenlerinden kaynaklanan kendine has tat ve aroması da baskılanarak daha tüketilebilir hale gelmesi amaçlanmıştır. Bitkinin keten tohumu yağı ile birlikte kullanılarak nanoemülsiyon oluşturulmasındaki bir diğer amaçta zencefilin bilinen antioksidan etkisinin çoklu doymamış yağlarca zengin keten tohumu yağının oksidatif stabilitesine etkisini belirlemektir.

Çalışma neticesinde;

- ✓ Zencefil bitkisinin rizomları (köksap) toz hale getirilmiş ve keten tohumu yağı ile birlikte kullanılarak başarılı şekilde emülsiyonlar oluşturulmuştur.
- ✓ Zencefilin kendine has keskin kokusu maskelenmiştir.
- ✓ Oluşturulmuş emülsiyonların sıcaklık artışı, pH değişimi, iyonik şiddet artışı karşısında fiziksel yönden stabil olduğu görülmüştür.
- ✓ Zencefil tozunun yağ fazına ya da emülsiyona dahil edilmesinde fiziksel, kimyasal ve antioksidan yönden anlamlı bir farklılık olmadığı belirlenmiştir.
- ✓ Suda çözünürlüğü düşük bileşenlerin emülsiyon içinde çözünmesi sağlanmıştır.
- ✓ Zencefil bitkisinin keten tohumu yağının oksidasyonuna etkisi incelenmiştir. Emülsiyon ile beraber aynı koşullarda üretilen ve zencefil eklenmemiş kontrol grupları incelendiğinde zencefilin oksidatif stabiliteyi arttırdığı ve antioksidan etki gösterdiği tespit edilmiştir.
- ✓ Emülsiyonları stabilize etmek amacıyla sentetik yüzey aktif maddeler yerine doğal yüzey aktif maddeler tercih edilmiştir. Böylelikle temiz içerikli, doğal gıdalar tasarlamak amacıyla bir ön çalışma yapılmıştır.

Günümüzde hastalıkların artması, endüstriyel ve hazır gıdaların tüketiminin yaygınlaşması, doğal ve pratik gıdalara ihtiyaç duyulmasına neden olmuştur. Tüketiciler hazır ve kolay erişilebilir aynı zamanda doğala olabildiğince yakın gıdalar tercih etmektedirler. Gıda bilimi ve teknolojisi için doğal gıdaların tercih edilmesi yönündeki artan trend, sentetik bileşenler yerine doğal bileşenlerin daha da önemli hale gelmesine neden olmuştur. Yakın zamanda gıdaların doğal renklerinden faydalanılarak, doğal renklendiricilerin yapay renklendiriciler yerine kullanılması gibi adımlar atılmaya başlanmıştır. Özellikle son yıllarda bu uygulamaların benzerleri daha da artmaktadır. Yapmış olduğumuz bu çalışma zencefilin tüketilebilirliğinin artması, doğal bir gıda maddesi olması ve aynı zamanda sağlığı destekleyici

çok fazla etkisi olması yönüyle oldukça önemlidir. Ayrıca yağ fazı olarak biyoaktif maddelerce zengin keten tohumu yağı kullanılması, yine aynı şekilde doğal emülsifiye edicilerin tercih edilmesi önem arz etmektedir. Oluşturduğumuz emülsiyonlar ile elde ettiğimiz sonuçlar yeni gıdalar tasarlanmasında, zencefilin kullanımının arttırılmasında, tat ve aromasının maskelenmesinde ve biyoaktif maddelerin korunmasında önemli gelişmeler sağlayacak veriler bulundurmaktadır. Doğal biyoaktif gıdaların biyoaktif özelliklerini maksimum düzeyde koruyacak şekilde gıdalara entegre edilmeleri, gelecekte doğal gıdaların tüketiminin artması, endüstriyel ürünlerin temiz içerikli tasarlanması, sağlığın beslenme yoluyla desteklenmesi adına ümit vericidir.

Öneriler ;

- ✓ Biyoaktif yönden zengin kaynakların kullanımının artması, sağlığı destekleyici gıdaların tasarlanması adına yapılan çalışmaların endüstriyel üretimde kullanımının yaygınlaşması gerekmektedir.
- ✓ Stabil yapıda olmayan ve dış etkiler karşısında kolaylıkla bozularak yararlı etkilerini kaybeden bileşenler, emülsifiye edilerek enkapsülasyon tekniğiyle daha stabil bir forma dönüştürülebilir.
- ✓ Emülsifiye edici ajan olarak doğal yüzey aktif maddelerin tercih edilmesi temiz içerikli, doğala yakın fonksiyonel gıdaların tasarlanması ve yaygınlaşması adına önem arz etmektedir.
- ✓ Emülsiyon teknolojisi suda çözünürlüğü düşük biyoaktif bileşenlerinin su bazlı gıdalara eklenmesi ve fonksiyonel gıdalar üretilmesine imkanı vermektedir.

KAYNAKÇA

- Akram, A., Rasul, A., Waqas, M. K., Irfan, M., Khalid, S. H., Aamir, M. N., Murtaza, G., & Rehman, K. U. (2019).** Development , characterization and evaluation of in-vitro anti-inflammatory activity of ginger extract based micro emulsion. May.
- Albuz, Ö. (2019).** Investigation of Cytotoxic Effects of Curcuma Longa , Zingiberaceae and Dianthus Caryophyllus , Which are Commonly Used as Food Supplements in Daily Life. 12, 351–356. <https://doi.org/10.30607/kvj.593514>
- Altu, E. (2010).** Zencefil ekstresinin safra yolları bağlanarak oluşturulan karaciğer hasarında koruyucu etkileri.
- Arslan, M. (2014).** Kemoterapiye bağlı gelişen bulantı , kusma ve öğürme üzerine meme kanserli kadın hastalarda kemoterapiye bağlı gelişen bulantı , kusma ve öğürme üzerine.
- Badoni, R., Kumar, D., Combrinck, S., & Viljoen, A. M. (2015).** Phytochemistry Gingerols and shogaols : Important nutraceutical principles from ginger. Phytochemistry, 117, 554–568. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2015.07.012>
- Bafna Harshal P. (2019).** International Journal of Medical and Biomedical Studies. 3(1), 12–18.
- Bahattin ;Tabar, A. B. (2018).** Farklı bitkisel ekstraktların ayçiçeği yağının oksidatif stabilitesi üzerine etkileri. 43, 333–346. <https://doi.org/10.15237/gida.gd17115>
- Başaran, S. H. (2015).** Formation of epoxy fatty acids during autoxidation of linseed, sunflower and olive oil (issue december).
- Başığit, B., Hayoğlu, İ., & Atasoy, F. (2017).** Kekik Esansiyel Yağı ve Mikroenkapsülasyon Uygulamaları. Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, 7(1), 63–70.
- Berton, C. C. Ve diğ. (2022).** Comp Rev Food Sci Food Safe - 2014 - Berton-Carabin - Lipid Oxidation in Oil-in-Water Emulsions Involvement of the.pdf.
- Boesso, V., Dutra, I., Nicolau, B., Ramalho, F., Maria, G., & Dupas, M. (2018).** The influence of the storage temperature on the stability of lipid microparticles containing ginger oleoresin. Food Research International, 109(February), 472–480. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.066>

- Braga, S. S. (2019).** Ginger : Panacea or Consumer ' s Hype ? Applied Sciences.
- Bryer, E. (2005).** B RIEF R EPORT A Literature Review of the Effectiveness of Ginger in Alleviating Mild-to-Moderate Nausea and Vomiting of Pregnancy. 2004–2006. <https://doi.org/10.1016/j.jmwh.2004.08.023>
- Çakmakçı, S., & Tahmas-kahyao, D. (2012).** Ya ğ Asitlerinin Sa ğ lık ve Beslenme Üzerine Etkilerine Genel Bir Bakı ş. 10(1), 103–113.
- Celus, M., Salvia-trujillo, L., Kyomugasho, C., Maes, I., Loey, A. M. Van, Grauwet, T., & Hendrickx, M. E. (2018).** Structurally modi fi ed pectin for targeted lipid antioxidant capacity in linseed / sun fl ower oil-in-water emulsions. Food Chemistry, 241(August 2017), 86–96. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.056>
- Çevik, K., Alaşalvar, H., Çam, M., & Yalçın, H. (2021).** Keten tohumu yağı ve yağsız süt tozu içeren emülsiyonların püskürt erek kurutma ile enkapsül asyonu : yağ oranı ve kurutma sıcaklığının etkileri encapsulation of emulsions containing flaxseed oil and skim milk powder by spray drying: the effects of oil r. 9(3), 735–742. <https://doi.org/10.21923/jesd.830668>
- Ceylan, M. M. (2022).** The influence of high pressure homogenization and high-intensity ultrasound on the functional properties of whey-protein / canola oil nanoemulsions during storage Yüksek basınçlı homojenizasyon ve yüksek yoğunluklu ultrasonun depolama sırasında peynir altı suyu proteini / kanola yağı nanoemülsiyonlarının fonksiyonel özellikleri üzerindeki etkisi. 26(2), 237–243. <https://doi.org/10.29050/harranziraat.1079031>
- Çınar, K. (2017).** A review on nanoemulsions : preparation methods and. 18(1), 73–83.
- Çinkır, N. İ. (2018).** Nanoteknolojik Tekniklerle Karotenoid Bileşenlerin Enkapsülasyonundaki Son Gelişmeler.
- Donald G. Barceloux, M. . (2008).** Chapter 68. In Medical Toxicology of Natural Substances (pp. 482–487). {John Wiley & Sons, Ltd}. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9780470330319.ch68>
- Fabrice Tonfack Djikeng. (2022).** Preservative Effect of Ginger Root (Zingiber officinale R.) Extract in Refined Palm Olein Subjected to Accelerated Thermal Oxidation Fabrice.
- Gökmen, S. (2012).** Gıda Endüstrisinde Enkapsülasyon Uygulamalar ı Applications of

Encapsulation in Food Industry. Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 7, No:1, 7(January), 36–50.

Gudipati, V. (2016). Effect of Essential Oil and Aqueous Extract of Ginger (Zingiber Officinale) on Effect of Essential Oil and Aqueous Extract of Ginger (Zingiber Officinale) on Oxidative Stability of Fish oil-in-Water Emulsion. August, 6–11. <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000412>

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.

Hatice Şanlıdere Aloğlu, Z. Ö., & Süleyman. (2010). Peyniraltı Suyu Proteinlerinin Mikroenkapsülasyon Teknolojisinde Kaplama Materyali Olarak Kullanım Olanakları. Süleyman Demirel Üniversitesi Akademik Gıda Dergisi, 8(3), 38–42.

Henrique, M., Gomes, G., & Kurozawa, L. E. (2020). Improvement of the functional and antioxidant properties of rice protein by enzymatic hydrolysis for the microencapsulation of linseed oil. Journal of Food Engineering, 267(June 2019), 109761. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109761>

Huang, J., Wang, Q., Sun, R., Li, T., & Xia, N. (2018). A novel solid self-emulsifying delivery system (SEDS) for the encapsulation of linseed oil and quercetin : Preparation and evaluation. Journal of Food Engineering, 226, 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.01.017>

Hülya İlyasoğlu, S. N. El. (2010). Kollodial salınım sistemleri olarak gıda sektöründe kullanım alanları nanoemulsions : formations , structures and application areas as collodial delivery. 35, 143–150.

Işıl VAR, S. S. (2015). Nanotechnology applications in the food industry. 40, 101–108. <https://doi.org/10.15237/gida.gd14040>

Jayanudin, Moh. Fahrurrozi, S. K. W. And R. (2019). Preparation of Chitosan Microcapsules Containing Red Ginger Oleoresin Using Emulsion Crosslinking Method. 2. <https://doi.org/10.1177/2280800018809917>

Kamala Krishnaswamy MD. (2008). Traditional Indian spices and their health significance. 17(December 2007), 265–268.

- Karabulut, h., & Gülay, M. Ş. (2016).** Antioksidanlar. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 1(1), 65–76.
- Kharat, M., Zhang, G., & McClements, D. J. (2018).** Stability of curcumin in oil-in-water emulsions : Impact of emulsifier type and concentration on chemical degradation. 111(March), 178–186. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.05.021>
- Kiyama, R. (2020).** Sciencedirect Nutritional implications of ginger : chemistry , biological activities and signaling pathways. The Journal of Nutritional Biochemistry, 86, 108486. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2020.108486>
- Koç, M., & Sakin, M. (2010).** Mikroenkapsülasyon ve Gıda Teknolojisinde Kullanımı Microencapsulation and its Applications in Food Technology. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt 16, Sayı 1, 2010, Sayfa 77-86, 16(1), 77–86.
- Koçak, N. (2011).** Türkiye ' de Keten Tarımı. 13–17.
- Lamothe, S., Jolibois, É., & Britten, M. (2020).** Function structure , lipolysis and oxidation during in vitro digestion. <https://doi.org/10.1039/d0fo02072a>
- Li, H., Liu, Y., Luo, D., Ma, Y., Zhang, J., & Li, M. (2019).** Complementary Therapies in Medicine Ginger for health care : An overview of systematic reviews. Complementary Therapies in Medicine, 45(March), 114–123. <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2019.06.002>
- Luyun Cai ve diğ., 2020. (2020).** The physiochemical and preservation properties of fish sarcoplasmic protein/chitosan composite films containing ginger essential oil emulsions.
- 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, 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>
- Michotte, D., Rogez, H., Chirinos, R., Mignolet, E., Campos, D., & Larondelle, Y.**

- (2011). Linseed oil stabilisation with pure natural phenolic compounds. Food Chemistry, 129(3), 1228–1231. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.05.108>
- Noori, S., Zeynali, F., & Almasi, H. (2018). Antimicrobial and antioxidant efficiency of nanoemulsion-based edible coating containing ginger (Zingiber officinale) essential oil and its effect on safety and quality attributes of chicken breast fillets. Food Control, 84, 312–320. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.08.015>
- Özen, M. A. (2014). Nar çekirdek yağının bazı hidrokolloidler kullanılarak.pdf.
- Ozgoli, G., Sc, M., Goli, M., Sc, M., Moattar, F., & Ph, D. (2009). Comparison of Effects of Ginger , Mefenamic Acid , and Ibuprofen on Pain in Women with Primary Dysmenorrhea. 15(2), 129–132. <https://doi.org/10.1089/acm.2008.0311>
- Öztop, M. H. (2016). Kapsaisin yüklü nanoemulsiyonların tasarlanması ve karakterizasyonu program kodu : 1002 proje no : 2140436 proje yürütücüsü : elif akbaş simge tutku yıldırım.
- Ozturk, B. (2014). Formation and stabilization of nanoemulsion-based vitamin E delivery systems using natural surfactants: Quillaja saponin and lecithin.
- Qian-Qian Mao , Xiao-Yu Xu, S. (2019). Bioactive Compounds and Bioactivities of Ginger (Zingiber officinale Roscoe). 1–21.
- Raciye MERAL, İsmail Sait DOĞAN, G. S. K. (2012). Fonksiyonel Gıda Bileşeni Olarak Antioksidanlar Antioxidants as Functional Food Ingredients. 2(2), 45–50.
- Şaban ÇELEBİ, Hatice KAYA, A. K. (2017). Omega- 3 Yağ Asitlerinin İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri. 32(2), 105–112. <https://doi.org/10.28955/alinterizbd.319437>
- Safitri, A. R., Evanuarini, H., Thohari, I., Java, E., & Java, E. (2019). The potential of local ginger as antioxidant on full-fat mayonnaise. 14(2), 90–98.
- Semwal, R. B., Semwal, D. K., Combrinck, S., & Viljoen, A. M. (2015). Gingerols and shogaols: Important nutraceutical principles from ginger. In Phytochemistry (Vol. 117, pp. 554–568). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2015.07.012>
- Şentürk, S. (2014). Diz Osteoartriti olan bireylerin bel bölgesine uygulanan zencefilli böbrek kompres uygulamasının ağrı düzeyi ve fiziksel fonksiyonlara etkisi. Erciyes University.

- Simon-Brown, K. (2016).** Microencapsulation of ginger (*zingiber officinale*) extract by spray drying technology.
- Srinivasan, K. (2017).** Pharnutrition Ginger rhizomes (*Zingiber of fi cinale*): A spice with multiple health bene fi cial potentials. 5, 18–28.
<https://doi.org/10.1016/j.phanu.2017.01.001>
- Stefani, S., Campo, C. De, Paese, K., Stanisçuaski, S., Maria, T., Costa, H., & Hickmann, S. (2019).** Nanoencapsulation of linseed oil with chia mucilage as structuring material : Characterization , stability and enrichment of orange juice. Food Research International, 120(July 2018), 872–879.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.11.052>
- Tatlısu, N. B. (2019).** Timol yüklü nanolif film üretimi, karakterizasyonu ve kaşar peyniri yüzeyinde antifungal kaplama materyali olarak kullanılması.pdf.
- Tavares, L. (2020).** Loleny tavares.pdf. Food and Bioprocess Technology, 13, 1405–1420.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11947-020-02480-3> ORIGINAL
- Tonon, R. V, Pedro, R. B., Grosso, C. R. F., Hubinger, M. D., Pedro, B., Grosso, C. R. F., & Tonon, R. V. (2012).** Microencapsulation of Flaxseed Oil by Spray Drying : Effect of Oil Load and Type of Wall Material Microencapsulation of Flaxseed Oil by Spray Drying : Effect of Oil Load and Type of Wall Material. Drying Technology, October 2012, 37–41. <https://doi.org/10.1080/07373937.2012.696227>
- Tontul, İ. (2011).** Keten tohumu yağının püskürterek kurutmaya mikroenkapsülasyonu üzerine farklı taşıyıcı madde ve emülsiyon uygulamalarının etkilerinin araştırılması. akdeniz üniversitesi.
- Torun, F. B., & fen. (2019).** Farklı enkapsülasyon yöntemleri kullanılarak elde edilen aroma kapsüllerinin depolama stabilitesinin ve gıda katkı maddesi olarak kullanımının araştırılması.
- Uluata, S., Durmaz, G., Mcclements, D. J., & Decker, E. A. (2021).** Comparing DPPP fluorescence and UV based methods to assess oxidation degree of krill oil-in-water emulsions DPPP = O (. Food Chemistry, 339(May 2020), 127898.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127898>
- Uluata, S., Mcclements, D. J., & Decker, E. A. (2015).** Physical stability , autoxidation

and photosensitized oxidation of ω -3 oils in nanoemulsion prepared with natural and synthetic surfactants Physical stability , autoxidation and photosensitized oxidation of ω -3 oils in nanoemulsion prepared with natural and synthetic surfactants. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b03572>

Victória, R., Fernandes, D. B., Vilela, S., Keven, E., Fernanda, Y., Junior, H., Souza, B. De, Lourenc, E., Oliveira, C. R. De, Yoshida, M. I., & Alvarenga, D. (2016). Study of ultrasound-assisted emulsions on microencapsulation of ginger essential oil by spray drying. 94, 413–423. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.010>

Wang, J., Chen, Y., Hu, X., Feng, F., & Cai, L. (2020). Nutrients Assessing the Effects of Ginger Extract on Polyphenol Profiles and the Subsequent Impact on the Fecal Microbiota by Simulating Digestion and. Nutrients.

Weiss, J. (2006). Functional Materials in Food Nanotechnology. 71(9), 107–116. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00195.x>

Yang, Y. (2012). Formation and stability of emulsions using a natural small molecule surfactant: Quillaja saponin (Q-naturaleò) Ying.

Yerramilli, M., Longmore, N., & Ghosh, S. (2018). Stability and Bioavailability of Curcumin in Mixed Sodium Caseinate and Pea Protein Isolate Nanoemulsions. June, 1013–1026. <https://doi.org/10.1002/aocs.12084>

Yılmaz, S., & Uzun, A. (2019). Keten Tarımı-Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü. In KETEN TARIMI. Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları.

Zhua, Z. (2018). Comparison of natural and synthetic surfactants at forming and stabilizing nanoemulsions: Tea saponin, Quillaja saponin, and Tween 80 Zhenbao.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Nazan YELMER BAYCAN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lise** : 2010, Malatya Atatürk Anadolu Kız Lisesi
- **Lisans** : 2015, İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği
- **Pedagojik Formasyon** : 2018, İnönü Üniversitesi, Eğitim Fakültesi
- **Yüksek lisans** : 2023, İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM:

- 2020`den beri Kahta İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğünde çalışıyor.

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN ÇALIŞMALAR:

- Nazan YELMER, Zencefil biyoaktif bileşenlerinin enkapsülasyonu ve biyoyararlılığının belirlenmesi- Özet bildiri. Uluslararası Maldia Sağlık Bilimleri Kongresi, 2022.
- Nazan YELMER, Encapsulation of ginger component to determine physical stability in oil-in-water emulsion- Poster Sunumu. Euro Fed Lipid Congress and Expo,2021.