



**T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI**

**BİTKİSEL YAĞ ESASLI EMÜLSİYONLARIN
HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZASYONU**

Fatma KÜRTÜNCÜOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman: Prof. Dr. Ali DELİBAŞ

OCAK – 2026

YOZGAT

T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI

BİTKİSEL YAĞ ESASLI EMÜLSİYONLARIN
HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZASYONU

Fatma KÜRTÜNCÜOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman: Prof. Dr. Ali DELİBAŞ

Bu çalışma Yozgat Bozok Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
(BAP) Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2024-1393 kodu ile
desteklenmiştir

OCAK – 2026

YOZGAT



**YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ONAY FORMU**

T.C.

**YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

Enstitümüzün Kimya Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans Programı 91115722021 numaralı öğrencisi Fatma Kürtüncüoğlu'nun hazırladığı “Bitkisel Yağ Esaslı Emülsiyonların Hazırlanması ve Karakterizasyonu” başlıklı tezi ile ilgili tez savunma sınavı, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri gereğince 19/01/2026 Pazartesi günü saat 13:30'da yapılmış, tezin onayına oy birliği ile karar verilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Ayşe BENK

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ali DELİBAŞ
(Danışman)

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ramazan COŞKUN

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve sayılı Enstitü Yönetim Kurulu Kararı ile onaylanmıştır.

...../...../ 20.....

Prof. Dr. Ümit BUDAK
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEZ BEYANI

Tez yazımı kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılması bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığı beyan eder, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Fatma KÜRTÜNCÜOĞLU

19 /01/ 2026

ÖN SÖZ

Tez çalışmamın her aşamasında bilgisini, deneyimi ve yol göstericiliği ile yanımda olan değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ali DELİBAŞ'a,

Tüm çalışmam sürecinde her türlü bilgi birikim ve deneyimlerini aktaran Sayın Prof. Dr. Ramazan COŞKUN'a,

Çalışma sürecim boyunca desteğini hissettiren kardeşim Sümeyra KÜRTÜNCÜOĞLU'na;

Hayatımın her döneminde fedakârlıklarını hiçbir zaman esirgemeyen, her zaman yanımda olan Sevgili Ailem'e teşekkür ederim.

Bu tez çalışması;

Yozgat Bozok Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FYL-2024-1393 nolu proje ile desteklenmiştir. BAP birimine mali desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Fatma KÜRTÜNCÜOĞLU

19/01/2026

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİTKİSEL YAĞ ESASLI EMÜLSİYONLARIN HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZASYONU

Fatma KÜRTÜNCÜOĞLU

**YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI**

TEZ DANIŞMANI: Prof. Dr. Ali DELİBAŞ

Endüstriyel kenevir, tüm bileşenleri açısından ekonomik konseptte sahip değerli bir bitkidir. Kenevir tohumu yağı da ekonomik açıdan önemli bir ham maddedir. Ancak kenevir yağında ki yüksek doymamış yağ asitleri içeriği nedeniyle, suda çözünürlüğünün düşük olmasına ve kimyasal kararsızlığa yol açmakta bu da sonuçta zayıf biyo yararlanıma sebep vermektedir. Bu nedenden dolayı kenevir yağı esaslı emülsiyonların hazırlanması önemlidir

Bu çalışma kapsamında kenevir çekirdeği yağı, zeytinyağı ve çörek otu yağı kullanılarak, üç farklı yağ oranına (%5, %10 ve %15) sahip su bazlı emülsiyonlar hazırlanmıştır. Emülsiyonların hazırlanması sürecinde Span 80, Polisorbat 60, Polisorbat 80, monodigliserid gibi farklı emülgatörlerden ve sakkarozdan yararlanılmıştır.

Hazırlanan emülsiyonların karakterizasyonu amacıyla emülsiyon stabilitesi, kremalaşma indeksi, zeta potansiyel, damlacık boyutu dağılımı, FTIR spektrumları ve renk parametreleri değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, yağ türü, yağ oranı ve kullanılan emülgatör tipinin emülsiyonların fizikokimyasal ve reolojik özellikleri üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

Elde edilen sonuçlarda yağ ve emülgatör tipinin zeta potansiyeli ve partikül boyutunu belirgin şekilde etkilediğini göstermiştir. Polisorbat 80 içeren ve sakkaroz bulunmayan sistemler daha küçük partikül boyutu ve daha yüksek elektrostatik stabilite görülmüştür. Kenevir yağı–zeytinyağı kombinasyonları, diğer sistemlere kıyasla daha homojen emülsiyon yapıları oluşturmuştur. EAI değerleri emülgatör tipi ve yağ fazı kompozisyonuna bağlı olarak değişmiş, Span80–polisorbat sistemleri daha yüksek emülsiyon aktivitesi sağlamıştır. İkili yağ sistemlerinde KY–ZY emülsiyonları, KY–ÇY' ye kıyasla daha yüksek ve daha stabil EAI değerleri göstermiştir.

2026, xi + 60 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Emülsiyon, Kenevir yağı, Emülgatör

ABSTRACT

MASTER THESIS

PREPARATION and CHARACTERIZATION of VEGETABLE OIL-BASED EMULSIONS

Fatma KÜRTÜNCÜOĞLU

**YOZGAT BOZOK UNIVERSITY
SCHOOL of GRADUATE STUDIES
CHEMISTRY DEPARTMENT**

SUPERVISOR: Prof. Dr. Ali DELİBAŞ

Industrial hemp is a valuable plant with an economic value for all its components. Hemp seed oil is also an economically important raw material. However, the high content of unsaturated fatty acids in hemp oil leads to low water solubility and chemical instability, which ultimately leads to poor bioavailability. Therefore, the preparation of hemp oil-based emulsions is important.

In this study, water-based emulsions with three different oil concentrations (5%, 10%, and 15%) were prepared using hemp seed oil, olive oil, and black cumin oil. In the preparation of emulsions, different emulsifiers such as Span 80, Polysorbate 60, Polysorbate 80, monodiglyceride, and sucrose were used.

To characterize the prepared emulsions, emulsion stability, creaming index, zeta potential, droplet size distribution, FTIR spectra, color parameters were evaluated. The findings showed that oil type, oil concentration, and the type of emulsifier used had a decisive effect on the physicochemical and rheological properties of the emulsions.

The results showed that the type of oil and emulsifier significantly affected the zeta potential and particle size. Systems containing polysorbate 80 and lacking sucrose exhibited smaller particle sizes and higher electrostatic stability. Hemp oil-olive oil combinations formed more homogeneous emulsion structures compared to other systems. EAI values varied depending on the emulsifier type and oil phase composition, with Span80-polysorbate systems providing higher emulsion activity. In binary oil systems, KY-ZY emulsions showed higher and more stable EAI values compared to KY-ÇY.

2026, xi + 60 Pages

Keywords: Emulsion, Hemp oil, Surfactant

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEZ ONAY SAYFASI.....	ii
TEZ BEYANI.....	iii
ÖN SÖZ.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	xi
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Problem durumu/konunun tanımı.....	1
1.2. Araştırmanın amacı.....	1
1.3. Araştırmanın önemi.....	2
1.4. Sınırlılıklar.....	2
1.5. Tanımlar.....	2
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1 Bitkisel Yağlar.....	3
2.1.1 Zeytinyağı.....	3
2.1.2. Çörekotu Yağı.....	4
2.1.3. Kenevir Yağı.....	4
2.2. Emülsiyon.....	7
2.2.1. Mikroemülsiyon.....	7
2.2.2. Nanoemülsiyon.....	8
2.2.3. Makroemülsiyon.....	9
2.3. Literatür Bilgisi.....	9

3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	12
3.1. Gereç.....	12
3.2. Yöntem.....	13
3.2.1. FT-IR Analizi.....	17
3.2.2. Emülsiyon Aktivitesi.....	17
3.2.3. Kremalaşma İndeksi.....	18
3.2.4. Partikül Boyutu ve Zeta Potansiyel Ölçüm.....	18
3.2.5. Renk Tayini.....	18
3.2.6. Mikroskop Görüntüleri.....	18
4. BULGULAR.....	19
4.1. Yağ Asidi Kompozisyonları.....	19
4.2. FT-IR Analizi Değerlendirilmesi.....	20
4.3. Zeta Potansiyeli ve Partikül Boyutlarının Değerlendirilmesi.....	22
4.4. Emülsiyon Aktivitesi.....	33
4.5. Emülsiyonların Kremalaşma İndeksi.....	39
4.6. Renk Değerleri.....	39
4.7. Mikroskop Görüntüleri.....	41
5. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER.....	43
6. KAYNAKLAR.....	46
EKLER.....	51

TABLÖLER LİSTESİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo2.1. Kenevir tohumu yağlarının kimyasal bileşimi (Chawla and Fang 2024)....	6
Tablo 3.1. %5'lik kenevir yağı ile araştırmada kullanılan numuneler.....	15
Tablo 3.2. %10'luk kenevir yağı ile araştırmada kullanılan numuneler.....	15
Tablo 3.3. %15'lik kenevir yağı ile araştırmada kullanılan numuneler.....	16
Tablo 3.4. %10'luk zeytinyağı ile araştırmada kullanılan numuneler.....	16
Tablo 3.5. %10'luk çörek otu yağı ile araştırmada kullanılan numuneler.....	17
Tablo 4.1. Emülsiyonlarda kullanılan yağların yağ asidi kompozisyonları.....	19
Tablo 4.1. (devamı) Emülsiyonlarda kullanılan yağların yağ asidi kompozisyonları..	20
Tablo 4.2. kenevir yağı emülsiyonu ZP, PS ve pH değeri.....	23
Tablo 4.2. (devamı) Kenevir yağı emülsiyonu ZP, PS ve pH değeri.....	23
Tablo 4.3. %10' luk zeytinyağı ve çörekotu yağı PS, ZP ve pH değeri.....	27
Tablo 4.3. (devamı) %10'luk zeytinyağı ve çörekotu yağı PS, ZP ve pH değeri.....	28
Tablo 4.4. %10'luk kenevir yağ-çörekotu yağ ve kenevir yağı-zeytinyağı..... PS,ZP sonuçları ve pH değeri.....	30
Tablo 4.4. (devamı) %10'luk kenevir yağı-çörekotu yağı ve kenevir yağı-zeytinyağı.. PS, ZP sonuçları ve pH değeri.....	31
Tablo 4.5. %5'lik, %10'luk ve%15'lik KY'nın absorbans ve EAI değeri.....	33
Tablo 4.5. (devamı) %5'lik, %10'luk ve%15'lik KY'nın absorbans ve EAI değeri..	34
Tablo 4.6. %10'luk kenevir yağı-çörekotu yağı ve kenevir yağı-zeytinyağı..... absorbans ve EAI değerleri.....	36
Tablo 4.7. %5, %10 ve %15 kenevir yağlı emülsiyonların renk analizi.....	40
Tablo 4.7. (devamı) %5, %10 ve %15 kenevir yağlı emülsiyonların renk analizi.....	41

ŞEKİLLER LİSTESİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Emülsiyon, mikroemülsiyon ve nanoemülsiyonların karşılaştırılması.....	9
Şekil 3.1. Twenn80 kimyasal formülü.....	12
Şekil 3.2. Polisorbat20 kimyasal formülü.....	12
Şekil 3.3. Digliserit yağ asitleri kimyasal formülü.....	13
Şekil 3.4. Sonikatör, homojenizatör, vortex.....	14
Şekil 4.1. FK1 numunesinin FT-IR spektrumu.....	21
Şekil 4.2. FK5-1 numunesinin FT-IR spektrumu.....	21
Şekil 4.3. ÇOY1 numunesinin FT-IR spektrumu.....	22
Şekil 4.4. ZY1 numunesinin FT-IR spektrumu.....	22
Şekil 4.5. %5’lik kenevir yağı ile hazırlanan emülsiyonun zeta potansiyeli.....	25
Şekil 4.6. %10’luk kenevir yağı ile hazırlanan emülsiyonun zeta potansiyeli.....	26
Şekil 4.7. %15’luk kenevir yağı ile hazırlanan emülsiyonun zeta potansiyeli.....	26
Şekil 4.8. Kenevir yağı emülsiyon numunelerinin PS grafiği.....	26
Şekil 4.9. Kenevir yağı emülsiyon numunelerinin ZP grafiği.....	27
Şekil 4.10.%10’luk çörekotu yağı ile hazırlanan emülsiyonun zeta potansiyel grafiği	30
Şekil 4.11. %10’luk zeytinyağı ile hazırlanan emülsiyonun zeta potansiyeli.....	30
Şekil 4.12. %10’luk kenevir yağı ve çörekotu yağı emülsiyonun zeta potansiyeli.....	30
Şekil 4.13. %10’luk kenevir yağı ve zeytinyağı emülsiyonun zeta potansiyeli.....	33
Şekil 4.14. %5’lik kenevir yağı bileşiminin EAI grafiği.....	35
Şekil 4.15. %10’luk kenevir yağı bileşiminin EAI grafiği.....	36
Şekil 4.16. %15’lik kenevir yağı bileşiminin EAI grafiği.....	36
Şekil 4.17. 14 günün sonunda emülsiyonların görünümü.....	39
Şekil 4.18. Örnek emülsiyonların floresan mikroskop görüntüleri.....	42
Şekil 4.19. Örnek emülsiyonların ışık mikroskopu görüntüleri.....	42

SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
-----------------	--------------------

cm	: Santimetre
mL	: Mililitre
mV	: Milivolt
nm	: Nanometre

Kısaltmalar	Açıklamalar
--------------------	--------------------

AYL	: Ayçiçek Lesitini
ÇOY	: Çörekotu Yağ
DLS	: Dinamik Işık Saçılımı
EAI	: Emülsiyon Aktivite İndeksi
FT-IR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
KY	: Kenevir Yağı
pH	: Power of Hydrogen
PS	: Parçacık Boyutu
THC	:Tetrahidrokanabinol
UV-vis	: Mor Ötesi ve Görünür Bölge Spektroskopisi
ZP	: Zeta Potansiyeli
ZY	: Zeytinyağı

1. GİRİŞ

Endüstriyel kenevir, tüm bileşenleri açısından ekonomik konseptte sahip değerli bir hammaddedir. Kenevir tohumu yağı da ekonomik açıdan önemli bir hammaddedir. Ancak kenevir yağındaki yüksek doymamış yağ asitleri içeriği nedeniyle, suda çözünürlüğünün düşük olmasına ve kimyasal kararsızlığa yol açmakta, bu da sonuçta zayıf biyo-yararlanıma sebep vermektedir. Bu nedenden dolayı kenevir yağı esaslı emülsiyonların hazırlanması önem arz etmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında özellikle kenevir yağı (THC oranları %0,2-0,3'den aşağı olduğu için sakıncalı bir durum ihtiva etmemektedir.) temel alınarak emülsiyonlar hazırlanmıştır. Emülsiyon stabilitesine etki eden faktörler (emülgatör türü, emülgatör miktarı, karıştırma hızı, karıştırıcı türü, yağ konsantrasyonu vb.) araştırılmıştır. Kenevir yağlarının kararlı emülsiyonlarının elde edildiği için, zeytinyağı ve çörekotu yağı ile kararlı emülsiyonları hazırlanmış, emülsiyon stabilitesine ve diğer özelliklere etkileri incelenmiştir.

1.1. Problem durumu/konunun tanımı

Emülsiyonlar, birbiri içerisinde çözünmeyen iki sıvının birbiri içerisinde dağıldığı damlacıkları (globüller) içeren termodinamik olarak stabil olmayan homojen görünümlü heterojen karışımlardır (Bustamante vd., 1993; Dickinson & Stainsby 1982). Emülsiyonlar, emülgatörler veya yüzey aktif maddeler tarafından stabilize edilen bir dağıtıcı faz içindeki nano boyuttan mikron boyutuna kadar damlacıklara sahip heterojen fazlardır. Hem su içinde yağ (O/W) hem de yağ içinde su (W/O) formülasyonları olarak geliştirilebilirler. Mükemmel stabilite ve ayarlanabilir reoloji, emülsiyonların ayırt edici özellikleridir. Bu özellikler emülsiyonları kozmetik, gıda ve ilaç endüstrilerindeki uygulamaların yanı sıra ilaç salınım amaçları için etkili bir alternatif haline getirir. Emülsifikasyonun amacı, su ve yağ bileşenlerini tekdüze hale getirmek ve bu şekilde tutmak için karıştırmaktır. Emülsifikasyon olmadan, bileşenler su ve yağa ayrılacak ve bu da onları kozmetik olarak kullanılamaz hale getirecektir. Emülsifikasyon teknolojisi ayrıca yağ ve su karışımı olan emülsiyon partiküllerini incelterek ve dağılan bileşenlerin miktarını artırarak aktif bileşenlerin uygulamasını kolaylaştırabilir (Jarzębski vd., 2021; Ghelichi vd., 2023).

1.2. Araştırmanın amacı

Kenevir yağının yüksek oranda doymamış yağ asitleri içermesi ve bunların zamanla bozulması nedeniyle kararlı emülsiyonların hazırlanması önemlidir (Chawla & Fang 2024).

Bu tez projesi kapsamında faydaları bilinen yağlardan bazılarının (kenevir yağı, zeytinyağı, ayçiçek yağı, çörekotu yağı vb.) tek başlarına ve/veya farklı oranlardaki karışımlarının kararlı emülsiyonları hazırlamak ve uygun metotlar ile karakterizasyonları gerçekleştirildi. Bu çalışmada özellikle kenevir yağı esaslı emülsiyonların hazırlanması ve karakterize edilmeleri amaçlandı. Kenevir yağının aşağıda açıklanan ve bilinen faydalarından dolayı su bazlı emülsiyonları hazırlanması ve ülkemiz açısından değerli bir hammadde olmaya başlayan kenevir yağı için kullanım alanı araştırılmış olacaktır.

1.3. Araştırmanın önemi

Bu projede hedeflenen sonuçlara ulaşılması halinde kararlı kenevir yağı emülsiyonları elde edildi. Literatür incelendiğinde kenevir yağı esaslı emülsiyonlar ile ilgili çalışma ülkemizde sınırlı sayıdadır. Bu açıdan önem arz etmektedir.

1.4. Sınırlılıklar

Karakterizasyon çalışmasının farklı şehirde yapılması bu yüzden sonuçlarının gecikme olasılığı oluşturmaktadır.

1.5. Tanımlar

Bu tez çalışmasında fazlaca kullanılan temel kavramları ifade etmektedir.

Emülsiyon: Emülsiyonlar, birbirini içinde çözünmemiş iki ya da daha fazla sıvıdan oluşmuş homojen görünümlü heterojen karışımlardır.

Bitkisel yağlar: Bitkisel yağlar çeşitli bitkilerin meyvelerinden veya tohumlarından elde edilmektedir. Doymamış yağ asidi açısından oldukça zengin olan sıvı haldeki yağdır.

Kenevir: Cannabinaceae ailesinden olan tek yıllık bitki olan kenevir çok çeşitli kullanım alanına sahip endüstriyel bir bitkidir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Bitkisel Yağlar

Bitkisel yağlar çeşitli bitkilerin meyvelerinden veya tohumlarından elde edilmektedir. Doymamış yağ asidi açısından oldukça zengin olan sıvı haldeki yağdır. Bitkisel yağlar beslenme zincirinin vazgeçilmez bir parçasıdır ve dünyanın değişik bölgelerinde kozmetik, ilaç, gıda ve kimya endüstrilerinde genel olarak kullanılmaktadır. Çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA), OMEGA-3 ve omega-6 bazı bitki ve alglerde bulunan elzem yağ asitleridir (Balo vd., 2006).

Bitkisel yağlar çok fazla işlenmiş gıdada ve yemek pişirmede fazlaca kullanıldığı için insanların beslenmesinde temel bileşenlerdendir. Dünyadaki kullanılan yağların %75'ine karşılık gelmektedir. Yağlar A, D, E ve K vitaminlerinin çözücüsü taşıyıcısıdır enerji kaynağı olmak gibi özelliklerinden dolayı tüketimleri artmıştır.

2.1.1 Zeytinyağı

Zeytinyağı çok uzun zamandır ilaç ve gıda olarak kullanılmıştır ve dünya da zeytinyağı üretimin ağırlığı Akdeniz ülkelerindedir yıllık üretimi 3 milyon ton civarındır.

Dünyada iki farklı zeytinyağı çeşidi bulunur. Bunlardan birincisi Avrupa menşeli zeytinyağı oleik asit miktarı yüksek linoleik asit miktarı düşüktür. Diğeri Afrika menşeli zeytinyağı zıt oranlarda asit bulundurur. Zeytinyağında genel olarak üç ana yağ asidi vardır bunlar linoleik asit (%3,5-21), palmitik asit (%7,5- 20) ve oleik asittir (%55-83). Sızma zeytinyağına klorofil varlığı yeşilimsi rengini vermektedir.

Zeytinyağının büyük bir kısmı serbest yağ asitleri ve gliseritlerdir bunun yanında %2'lık gibi bir kısmı skualen, fenolik bileşik, triterpenler, pigmentler (klorofil, karotenoid) steroller gibi bileşiklerden oluşmaktadır. Zeytinyağının içerisinde on dokuz tane fenolik bileşik belirlenmiştir bazıları oleuropein, oleokanthal, tirozol, hidroksitirozol gibi bileşikler bulunmaktadır (Armutcu vd., 2013).

Rafine işlemlerinden sonra zeytinyağ içerisinde olan bileşikler kaybolmaktadır. Ancak uluslararası standartlarda rafine ve sızma zeytinyağı içerisinde oleik asit %56-83, palmitik asit %7,5-20, linoleik asit%3,5-20, stearik asit%0,5-3,5, palmitoleik asit%0,3-0,5, linolenik asit %0-1,5, miristik asit%0-0,5 ve az miktarda diğ er yağ asitlerinden bulundurulmalıdır (Armutcu vd., 2013).

2.1.2. Çörekotu Yağı

Son zamanlarda sağlık alanı ve gıda sanayinde sıklıkla kullanılan maddelerden biri de çörekotu yağıdır.

Çörek otu Ranunculaceae ailesine ait olan *nigella sativa* bitkisinin güçlü bir tıbbi geçmişi vardır. Ülkemizde; börek, çörek ve çeşitli peynir çeşitlerinde sıklıkla kullanılan çörekotu tohumlarını Yunan ve Mısır hekimlerince burun tıkanıklığı, diş ağrısı, baş ağrısını tedavi etmek ve anne sütünü arttırmak için kullanmışlardır. Orta Doğu ve Uzak Doğu da bronşit, enfeksiyonlar astım, şişmanlık hipertansiyon ve mide bağırsak yolları sorunları da olmak üzere birçok hastalığın tedavinde kullanılan geleneksel bir ilaçtır (Bulca 2014).

Türkiye de 12 farklı çörekotu türü bulunmaktadır. Bunlardan baharat ve geleneksel tıp olarak en sık kullanılanlar *nigella damascena*, *nigella arvensis* ve *nigella sativa*dır. Konya, Isparta, burdur ve afyon civarlarında üretilmektedir ticareti yapılan tür *Nigella sativa*'dır (Yüncü vd., 2013).

Çörek otu tohumları çeşidine yetiştirildiği bölgeye iklime ve hasad mevsimine göre kimyasal bileşimleri değişiklik gösterir. Shah ve Kasturiye göre çörekotu bileşenleri su, protein, yağ, nişasta, ham lif, diyet lifi ve küldür (Shah vd., 2003).

2.1.3. Kenevir Yağı

İnsan yaşamına M.Ö.8000 yıllarında dahil olan kenevir ilk önce liflerinden faydalanmak amacıyla kullanılırken zamanla tohumlarındaki yağlar ve çekirdekleriyle kullanılmaya başlamıştır(Göre vd., 2020).

Cannabaceae ailesinden olan tek yıllık bitki olan kenevir çok çeşitli kullanım alanına sahip endüstriyel bir bitkidir. Ana vatanı Güney Asya olan bu bitkinin aynı zamanda Hindistan ve Orta Asya olduğu da kabul edilmektedir (Pongsumpun & Iwamoto 2020). Kenevir, bugüne dek birçok farklı farklı adla anılmıştır. Bunlar halk dilinde kenevir, çetene ya da kendir şeklide bilinmektedir(Gutiérrez vd., 2008).

Kenevir bitkisi dış etkenlere bağlı olarak bir metre ile altı metre boyunda olabilen otsu bir bitkidir. Büyüme safhası boyunca bitkinin çapı 2,5 ve 5 cm olan odunsu sert gövdeli saplar oluşturur. Bitkinin formu dış yapısı tohum yoğunluğuna göre farklılık gösterir. Fazla tohum yoğunluğu (yani bitki sıklığı) bitkilerde sınırlı sayıda daha ince yan dallar oluşur. Yağı yüksek tohum üretimi için dikim yoğunluğu azaltılır. Bu şekilde çok geniş gövdeye sahip fazlaca gür dallı bitkiler oluşur (Fike 2016).

Kenevir bitkisi özellikleri bakımından çok önemli bir bitki olsa da esrar olarak kullanıldığı için üretimi yasaklanmıştır. Fakat son zamanlarda düşük miktarda tetrahidrokonabinol (THC) içeriği olan kenevirlerin ortaya çıkmasıyla süreç değişmeye başlamıştır (Fike 2016). Kenevir çeşitlerini ayırt edebilmek için tetrahidrokonabinol (THC) oranına bakılmaktadır. Esrar yapımında kullanılan kenevirin THC oranı %1 ile %20 arasında olmaktadır. Avrupa yasalarında üretilmesine izin verilen kenevir çeşidinin kuru ağırlıkta THC oranı en fazla %0,2 olmasına izin verilmektedir.

Kenevir tohumu yaklaşık %35 yağ oranına sahiptir. Bu yağın %80'lik kısmı doymamış yağlardır. Doymamış yağlar en az bir adet çift bağ içermektedir. Kenevir yağının doymamış yağ açısından fazla doymuş yağ asitleri açısından az olması kaliteli bir içeriği olduğu anlamına gelmektedir.

İnsanların vücudunda üretilmeyen elzem yağ asitlerinin vücut dışından alınmalıdır. Kenevir yağında alınması gereken alfa-linoleik asit (omega-3) ve linoleik asit (omega-6) bakımından fazlaca zengindir. Bu alfa-linoleik asit (omega-3) anti-inflamatuar, antikanser ve anti-trombotik yönleriyle çok büyük faydalara yol açarak metabolizmayı hızlandırır ve vücudun yağ yakımını hızlandırır. Bunların yanında içerisinde gama-linoleik asidin olması kenevir yağının farklı tohumların yağları ile mukayese ettiğimizde besin değerleri bakımından zengin kılmaktadır. Bu tohumlar mineraller, vitaminler (E ve D) ve antioksidan deposu olduğu kabul görmektedir. Bazı beslenme türleri için yarar sağlayabilir ve zararlı kolesterol seviyesini düşürebilir (Chawla & Fang 2024; Martins vd., 2024). Omega 3 ve omega 6 yağ asitlerinin dengeli oranını desteklemesinin yanı sıra besin değeri dışında, kenevir tohumu yağının bildirilen antibakteriyel etkisi bir miktar tartışmalıdır. Bu etki kullanılan kenevir türüne göre değişkenlik gösterebilir.

Yağın besin bileşiminde sitosterol ile metil salisilat olması çok fazla doğal bileşiklerin varlığını tamamlar bu yüzden de fonksiyonel gıda olarak hizmet etme özelliğini artırır (Chawla & Fang 2024).

Bütün bunların yanında raporlar kenevir tohum yağının cildin derinlerine kadar etki edebileceğini lipidler açısından yoğun kremler ve linoleik asit bulunduran hafif vücut yağları için mükemmel bir bileşen olarak gösterilmektedir (Martins vd., 2024).

Günümüz dünyasında kenevir tohum yağı nemlendiriciler, losyonlar, dudak balsamı ve şampuanlar başta kozmetikte kullanım alanı bulmaktadır. Örnek olarak yirmi hafta süresince yapılan çalışmalarda elde edilen veriler atopik dermatitli bireylerde dikkate değer faydalar

göstermiştir. Bahsi geçen gelişmeler kenevir tohum yağındaki doymamış yağ asitlerinin miktarının yeterli olmasıyla ilişkilidir. Bu doğrultuda omega açısından zengin kenevir içerikli takviyeler besin cilt bakımı ve kozmetik ürünleri başta olacak şekilde ticari pazarda yer bulmuştur (Chawla & Fang 2024).

Endüstriyel ve AR-GE uygulamalar için üç çeşit kenevir tohumu yağı ekstraksiyonu vardır. Mekanik, süperkritik akışkan ve çözücü ekstaksiyondur. Eksktraksiyon çeşidi yağın kalitesini kimyasal fiziksel özelliklerini bunun yanında kimyasal bileşimine doğrudan etki etmektedir.

Çözücü ekstraksiyonunda genel olarak sıcaklığın çekirdek oranı ve çözücü etkisi incelenir özellikle genel olarak ekstraktan çözücüsü olarak da n-hekzan dikkate alınır. Mekanik ekstaksiyonunda tohumlar çözücünün varken ve yokken preslenir ve inceleme sürecinde ölçütleri sıcaklık çözücünün çeşidi ve tohum boyutudur.

Süperkritik akışkan ekstraksiyon da yağ süperkritik şartlarındaki bir akışkanla (çoğunlukla karbondioksit) beraber katı bir metristen yüksek basınç ve sıcaklık kullanılarak oluşturulur. Çalışma basınç, sıcaklık ve çözücü oranlarında olan değişime yoğunlaşmıştır.

Çözücü ekstraksiyonlar her çeşit bitkisel yağların açısından en ideal teknik olsa bile süper kritik yöntemi kenevir tohumu yağı konusunda bilimsel literatürlerde en fazla edilen tekniktir (Martins vd., 2024)

Tablo2.1. Kenevir tohumu yağlarının kimyasal bileşimi

Birleştirmek	İçerik (%a/a)	
Yağ asitleri	Kaynak	Kaynak
Linoleik asit (LA; 18:2n-6)	50–70	55–60
Alfa-linolenik asit (ALA; 18:3n-3)	15–25	17–19
Oleik asit (C18:1)	10–16	9–11
Palmitik asit (C16:0)	6–9	3–6
Stearik asit (C18:0)	2–3	1–3
E Vitamini (mg/kg yağ)		
Alfa-tokoferol	30.22d	34f
Beta-tokoferol	Hayır	6
Gama-tokoferol	733.38	733
Delta-tokoferol	Hayır	25

(Kaynak: Chawla & Fang 2024)

2.2. Emülsiyon

Emülsiyonlar, birbiri içinde çözünmemiş iki ya da daha fazla sıvıdan oluşmuş homojen görünümlü heterojen karışımlardır. Yağın su fazında dağıldığı su içinde yağ emülsiyonları, suyun yağ fazında dağıldığı yağ içinde su emülsiyonları ve bir emülsiyonun diğer emülsiyonda dağıldığı çoklu emülsiyonlar olmak üzere çeşitli emülsiyonlar bulunmaktadır. (Kirkhus vd., 2015; McClements vd., 2016; Muschiolik vd., 2017). Aynı zamanda emülsiyonlar damlacık boyutuna göre sınıflandırılmaktadır. Mikroemülsiyonlar, nanoemülsiyonlar ve makroemülsiyonlar olarak kategorize edilmektedir (Gutiérrez vd., 2008; Özhamamcı 2019).

2.2.1. Mikroemülsiyon

Nanoboyutta dışarıdan müdahale olmadan gerçekleşen sisteme mikroemülsiyon denir. Mikroemülsiyonda bir sulu faz, bir yağ fazı, bir yüzey etken madde ve gerekli görülmesi durumunda yardımcı olan ikinci bir yüzey etken madde barındırmaktadır. Mikroemülsiyon; yüzey etken madde ile kararlı hale getirilmiş termodinamik olarak kararlı (stabil), optik olarak şeffaf izotropik bir karışımdır. Mikroemülsiyonlarda damlacık boyutları 10 nm ile 100 nm arasında değişiklik göstermektedir (Muzaffar vd., 2013) .

Mikroemülsiyonlar sadece y/s değil, aynı zaman da s/y emülsiyonları su ve yağ fazlarının itina ile belirlenmiş şekilde karıştırılmasıyla kendi kendine oluşturulabilir (Karasulu 2008). 1959 senesinde katyonik yüzey etken madde, alkol, yağ fazı ve su ile beraber emülsiyona benzer karışımlar yapmışlar ve hazırlanan bu karışımlar mikroskop ile incelenmiştir bu yüzden mikroemülsiyon olarak isimlendirilmiştir. 1981 senesinde Danielssonsa mikroemülsiyonları içerisindeki yağ ve suyun olduğu optik açısından izotropik bunun yanında tek fazlı sistem olarak açıklanmıştır (Çomoğlu & Gonul 1997; Danielsson vd., 1982). Mikroemülsiyonların 4 ve 150 nm civarı damlacık çapı vardır. Bileşik formülasyonları termodinamik olarak denge halinde olması nedeniyle kendiliğinden dışarıdan etki olmadan oluşan sistem olarak açıklanır. Mikroemülsiyonların oluşum süreci bileşen oranı ve sıcaklık gibi termodinamik faktörlere oldukça bağlıdır (Anton & Vandamme 2011). Mikroemülsiyonlarda su ve yağ arasına yüzey etken maddeler girerek mutlak sınırlarla fazları ayırır. Bu maddeler apolar kuyruk kısmı ve polar baş kısmı olan iki bölgesi bulunur, bu sebeple damlacıklar yuvarlak şeklinde iç faza dağılır (McClements 2012).

Enerjiye ihtiyaç duymadan kendiliğinden gerçekleşir. Uzunca bir süre stabildir. Kozmetikler ve ilaçlar için oldukça önemli bir formülasyondur. Vitaminlerin, koruyucuların ve

parfümlerin s/y veya y/s mikroemülsiyonları kullanılması suretiyle çözünür hale gelmelerine ulaşılabilir. Emülsiyonlara ve katı ilaçlara oranla daha çabuk emilir (Çomoğlu & Gonul 1997; Karasulu 2008; Özyılmaz vd., 2020).

Mikromülsiyonların stabilitesi pH gibi ve sıcaklık gibi çevre koşullarından çok kolay etkilenir. Ufak boyutlardaki damlacıklar kararlı olmanın sağlanması için gerekli formülasyonlar da yüksek derişimler de yüzey etken madde barındırır. bu sebeple formülasyonda iritan veya toksik özellikler gösterebilir (Özyılmaz vd., 2020).

2.2.2. Nanoemülsiyon

Nanoemülsiyonlar çok küçük damlacıklara sahip konvansiyonel emülsiyon olarak bilinmektedir (McClements 2012). Nanoemülsiyonlar damlacık boyutları 20-200nm arasında değişiklik göstermektedir (Tadros vd., 2004). Nanoemülsiyonlar yağın su içinde olması (y/s) ya da su içinde yağ olmasıdır (s/y) (Tadros vd., 2004; Solans vd., 2012).

Nanoemülsiyonlar, gıda, kimya endüstrisi, kozmetik ve ilaç sanayisinde kullanılmaktadır. Nanoemülsiyonlar emülsiyonlardan çok daha küçük damlacıklara sahip olması nedeniyle kremalaşma oldukça dayanıklıdır. Nanoemülsiyonlar da mikroemülsiyonlar da olduğu gibi berrak ve berrak optik özelliği gösterir (Solans vd., 2012; Tadros vd., 2004).

Teorik durumda nanoemülsiyonlar da yüzey etken maddeye gerek duymadan su ve yağ disperse olmaktadır. Fakat pratikte aynı biçimde oluşturulan emülsiyonlar faz ayrımı verme eğilimindedir ve stabiliteleri azdır. Kinetik stabiliteyi çoğaltmak için formülasyonuna yüzey etken madde eklenmelidir. Nanoemülsiyonların ortaya çıkışı ile stabilite genellikle bir tane yüzey etken madde değil birden fazla farklı bileşenden karışımlar hazırlanmaktadır (McClements 2012).

Nanoemülsiyonlar ve mikroemülsiyonlar aynı bileşene sahiptir. Şöyle ki yağ, su, yüzey etken madde ile yardımcı yüzey etken maddeden meydana gelmektedir. Yapısal olarak nanoemülsiyon mikroemülsiyona benzerdir. Yüzey etken maddesinin hidrofilik kısmı su fazına tutunmuş iken hidrofobik kısmı yağ kısmına tutunmuş ve bütünleşmiştir. Fakat nanoemülsiyonlar mikroemülsiyonların tersine konvansiyonel emülsiyonlarda olduğu gibi termodinamik olarak dengeye sahip değildir (McClements 2012).

Parçacık boyutu çok küçük olması sebebiyle parçacıklar karışım içerisinde asılı kalmaktadır. Bu nedenden kümeleşme ve kremalaşmanın süresini geciktirmektedir.

Düşük yüzey geriliminden temes ettiği yüzeyi ıslatmaktadır ve yüzeye yayılma eğilimi vardır. Aynı zamanda yüzey alanının büyük olması etkin maddenin emilimini arttırmaktadır. Mikroemülsiyonun tersine hazırlanmasında daha az miktarda yüzey etkin maddeye gereksinim duymaktadır.

Deriye uygulandığında parçacık boyutunun küçük olması sebebiyle taşıdığı etkin maddeyi deri altına ulaştırabilmektedir.

Mat olmaması sebebiyle kozmetikte kullanımı yaygındır.

Suda ki çözünürlüğü az olan etkin maddenin çözünürlüğünü arttırır (Baboota vd., 2007; Mahajan vd., 2014).

Stabil nanoemülsiyon elde edilebilmesi için fazla miktarda yüzey etkin madde ile yardımcı yüzey etkin maddeye gereksinim vardır.

pH ve sıcaklık gibi çevresel etmenler tarafından nanoemülsiyonun kararlılığı hızlı şekilde etkilenebilir (Baboota vd., 2007; Bhosale vd., 2014).

Özellik	Emülsiyon	Mikroemülsiyon	Nanoemülsiyon
Fiziksel tanım	Kaba dispersiyon	Kolloidal dispersiyon	Kolloidal dispersiyon
Damlacık boyutu	>500 nm	<100 nm	<100 nm
Polidispersite	Yüksek	Düşük	Düşük
Termodinamik stabilite	Stabil değil	Stabil	Stabil değil
Surfaktan: yağ oranı	Düşük	Yüksek	Orta
Görünüş	Kremsi	Şeffaf	Şeffaf
Yapı	Yarı katı	Sıvı	Sıvı

Şekil 2.1. Emülsiyon, mikroemülsiyon ve nanoemülsiyonların karşılaştırılması

2.2.3. Makroemülsiyon

Makroemülsiyonlar bir sıvı içinde kendisiyle karışmayan en az bir başka sıvıyı damlacıklar halinde bulunduran heterojen sistemlerdir. Makroemülsiyonlarda damlacıkların çapı 500 nm kadar olabilir (Muzaffar vd., 2013). Makroemülsiyonlar damlacık büyüklüğünün yüksek olması nedeniyle, bulanık, süt görünümlüken, damlacık boyutu ufak olan mikroemülsiyonlar saydamdır (Yenilmez 2007).

2.3. Literatür Bilgisi

Aşağıda kenevir yağı veya bazı bitkisel yağlar kullanılarak hazırlanarak emülsiyonlar hakkında literatür çalışmaları özetlenmiştir.

Crini ve arkadaşları, sunmuş oldukları derleme makalede kenevir hakkında bilgi vererek tekstil, kağıt endüstrisi, izolasyon ve inşaat malzemesi, gıda ve kozmetik gibi pek çok sektördeki kullanımları hakkında bilgi sunmuşlardır (Crini vd., 2020) .

Amiri-Rigi ve arkadaşları, kenevir çekirdeği yağlarının nanoemülsiyonlarını hazırlamışlar ve çalışmalarında askorbil palmitatı antioksidant olarak kullanmışlardır. Çalışmada emülgatör olarak gum arabic-maltodekstrin karışımı kullanmışlardır. Askorbil palmitatın oksidasyonu engellediğini ve optimum formülasyon için ortalama partikül boyutunu 293 nm olarak belirlemişlerdir (Amiri-Rigi vd., 2023) .

Mikulcova ve arkadaşları, kenevir tohumu yağı ve emülsiyonlarının formülasyonu, karakterizasyonu ve beklenen antibakteriyel özelliklerini araştırmışlardır. Kenevir tohumu yağını rafine ve rafine edilmemiş formlarda kullanmışlardır. Çalışmada noniyonik emülgatörler olan Tween ve Span kullanmışlardır. En iyi emülsiyonlarda partikül boyutu 151 nm olarak belirlenmiştir. Formülasyonların beklenildiği gibi antibakteriyel özellik sergilemediğini belirlemişlerdir (Mikulcová vd., 2017).

Smulek ve Jarzebski, Demir takviyesi ve D vitamini için potansiyel bir taşıyıcı olarak Sapindus saponinleri içeren kenevir tohumu yağı nanoemülsiyonlarını hazırlamışlardır. Yağ fazı ve emülgatörün içeriğine bağlı olarak emülsiyonların özelliklerindeki farklılıkları karakterize etmek için renk özellikleri, numunelerin şeffaflığı, kızılötesi spektrum, parçacık boyutu dağılımı, sistem ve emülsiyonların reolojik özelliklerini belirlemişlerdir. Düşük yağ oranlarında daha iyi stabilite elde edildiğini bildirmişlerdir. Hazırlanan sistemin D vitamini ve demir takviyesi için uygulama alanı olabileceğini bildirmişlerdir (Smulek & Jarzebski 2023).

Li ve arkadaşları, Kenevir tohumu proteini ile stabilize edilmiş kenevir tohumu yağı (HSO) emülsiyonlarını yüksek yoğunluklu ultrasonik ile hazırlamışlardır ve farklı güçler ile muamele edilmiş emülsiyonların özellikleri, mikro yapıları ve emülsiyon kararlılıklarına etkilerini araştırmışlardır. HSO emülsiyonu ve HSO ve türevlerinin gıda işleme üretiminde uygulanmasını önermişlerdir (Li vd., 2022).

Xue ve arkadaşları, stabil kekik yağı nanoemülsiyonlarını, sodyum kazeinat (NaCas) ve soya lesitin kombinasyonları kullanılarak hazırlamışlardır. Emülsifiye kekik yağının serbest kekik yağına kıyasla %2 yağı azaltılmış sütte başlangıçta (4 ve 8 saat) bakterilerin sayısında daha önemli azalmalar gösterdiğini bildirmişlerdir (Xue vd, 2015).

Cheong ve Nyam, sodyum kazeinat ile stabilize edilmiş kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) tohumunun su içinde yağ nanoemülsiyonlarını, Tween 20 ve β -siklodekstrin kompleksleri, yüksek basınçlı homojenizatör kullanarak üretmişlerdir. Optimize edilmiş emülsifiye edici karışımların konsantrasyonu ve β -siklodekstrin ilave sırası da dahil olmak üzere emülsiyonlaştırma koşullarını incelemişlerdir. Optimize edilmiş işlem parametrelerinin, sırasıyla 122,2 nm, 0,147 ve 46,6 mV parçacık boyutu, PDI ve zeta potansiyeline sahip nanoemülsiyonlar üreten 4 döngü için 28.000 psi olduğunu bulmuşlardır. $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de 6 haftaya kadar depolamada iyi stabilite gösterdiğini bildirmişlerdir (Cheong & Nyam 2016).

Pongsumpun ve arkadaşları, tarçın esansiyel yağı (CEO) nanoemülsiyonunun üretimi için optimum formülasyon ve ultrasonik koşulları, Tepki Yüzey Metodolojisi (RSM) kullanarak belirlemişlerdir. Prob ultrasonikasyonunun, daha küçük damlacık boyutuna, polidispersite indeksi (PDI) kullanılarak ölçülen daha dar boyut dağılımına ve daha yüksek viskoziteye sahip nanoemülsiyonlar ürettiği için banyo ultrasonikasyonundan daha iyi performans gösterdiğini bildirmişlerdir (Pongsumpun vd., 2020).

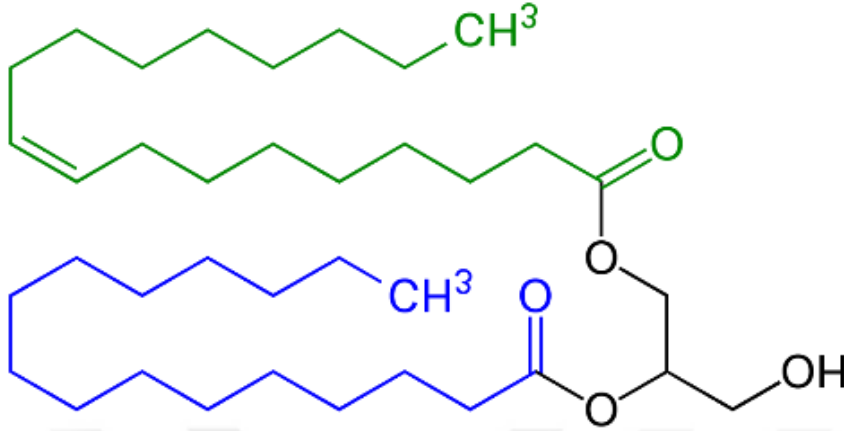
Jarzebski ve arkadaşları, *Aesculus hippocastanum* L. Ekstraktlarını (AHE), iki basamaklı bir işlem uygulayarak kenevir çekirdeği yağı nano emülsiyonlarının hazırlanmasında stabilizatör olarak kullanmışlardır. Emülsifiye indeksi (EI) dahil olmak üzere stabilite testleri ve dinamik ışık saçılımı (DLS) ile gerçekleştirilen damlacık boyutu dağılım testleri ile AHE'nin emülsiyonun stabilitesi üzerindeki faydalı etkisini kanıtlamışlardır. 7 günlük depolamanın ardından su bazlı sistemin EI'sinin %100 civarında olduğunu bulmuşlardır (Jarzebski vd., 2021).

Şeker ve Esen, kenevir çekirdeği yağını krem ve sabun formülasyonlarında kullanmışlardır. Sabun formülasyonlarında farklı konsantrasyonlarda kenevir çekirdeği yağı kullanmışlar ve cilt hidrasyonu üzerinde pozitif etkilerini bildirmişlerdir (Şeker vd., 2021).

Baldino ve arkadaşları, kenevir yağı elde etmek için süper kritik CO₂ ekstraksiyonu ve ultrasonik ile çalışmışlar ve sonuçları sokslet ekstraksiyonu ile karşılaştırmışlardır. Elde edilen yağların gellan gum ile emülsiyonlarını hazırlamışlardır (Baldino vd., 2022).

Ayrıca literatürde hem kenevir çekirdeği yağları hem de diğer bitkisel yağların emülsiyonları ve özellikleri ile ilgili çalışmalar da mevcuttur (Anicescu vd., 2020; Kitamura vd., 2020).

Mono ve digliseritler noniyonik yağda çözünebilir emülgatörlerdir suda az çözünürler Mono ve digliseritler, sentetik olarak gliserinin yağ asitleriyle esterleşmesi sonucu elde edilmektedir (Özhamamci 2019).



Şekil 3.3. Digliserit yağ asitleri kimyasal formülü

3.2. Yöntem

Bu tez çalışmasında kenevir yağı, zeytin yağı ve çörekotu yağlar farklı oranlarda karıştırılarak kararlı emülsiyonlar hazırlanarak uygun metotlar ile karakterizasyonları yapıldı.

Emülsiyonların stabilitesine etki eden değişkenlerden biri de emülsiyona katılan yağ miktarı olduğu yapılan literatür araştırmalarında görüldü (Aslan vd., 2018). Bu sebeple 25 mL'lik (mililitre) bir numunede kütlece %1 span80, %1 polisorbat20, %1 polisorbat80, %1 monodigliserid, %1 ayçiçek lesitini ve %12 sakkoroz sabit tutularak; ürüne %5, %10 ve %15 oranlarında farklı miktarlarda yağ eklenmiştir. Numunelerin hazırlanmasında ilk olarak kenevir yağı, span80 ve polisorbat20 birlikte vorteks cihazında karıştırılmıştır. Ardından, 70 derece sıcaklıktaki su karışıma eklenmiş ve üzerine sakkaroz ilave edilmiştir. Karışım tekrar vortekslendikten sonra 1000 rpm'de 10 dakika süresince homojenizatörde (IKA T18 digital ultra turrax) karıştırılmıştır. Son aşamada ise numuneler 10 dakika süresince sonikatörde (electronic Almanya) bekletilmiştir.



Sonikatör



Homojenizatör



Vortex

Şekil 3.4. Sonikatör, homojenizatör, vortex

Bu tezde kullanılan çalışma deseni Tablo 3.1, Tablo 3.2, Tablo 3.3, Tablo 3.4, Tablo 3.5,'de ifade edilmiştir. Hazırlanan emülsiyonlarda, partikül analizi zeta potansiyeli, emülsiyon stabilitesi, renk analizi, pH değeri ve kremalaşma indeksi ölçümleri yapılmıştır.

Tablo 3.1. %5'lik kenevir yağı ile araştırmada kullanılan numuneler

Emülsiyonun kodu	Emülsiyon oluşturmada kullanılan yağ çeşidi	Emülsiyondaki yağ oranı (%)	Emülsiyonda kullanılan emülgatör	Sakkaroz
FK1-5	Kenevir yağı	5	Span80 PS20	+
FK2-5	Kenevir yağı	5	Span80 PS80	+
FK3-5	Kenevir yağı	5	Span80 AYL	+
FK4-5	Kenevir yağı	5	MDG PS20	+
FK5-5	Kenevir yağı	5	MDG PS80	+
FK6-5	Kenevir yağı	5	Span80 PS20	-
FK7-5	Kenevir yağı	5	Span80 PS80	-
FK8-5	Kenevir yağı	5	Spn80 AYL	-

PS20:Polisorbat20, PS80:Polisorbat80, AYL:Ayçiçek lestini, MDG:Monodigliserid

Tablo 3.2. %10'luk kenevir yağı ile araştırmada kullanılan numuneler

Emülsiyonun kodu	Emülsiyon oluşturmada kullanılan yağ çeşidi	Emülsiyondaki yağ oranı (%)	Emülsiyonda kullanılan emülgatör	Sakkaroz
FK1	Kenevir yağı	10	Span80 PS20	+
FK2	Kenevir yağı	10	Span80 PS820	+
FK3	Kenevir yağı	10	Span80 AYL	+
FK4	Kenevir yağı	10	MDG PS20	+
FK5	Kenevir yağı	10	MDG PS80	+
FK6	Kenevir yağı	10	MDG AYL	+
FK7	Kenevir yağı	10	Span80 PS20	-
FK8	Kenevir yağı	10	Span80 PS80	-
FK9	Kenevir yağı	10	Span80 AYL	-

PS20:Polisorbat20, PS80:Polisorbat80, AYL:Ayçiçek lestini, MDG:Monodigliserid

Tablo 3.3. %15'lik kenevir yağı ile araştırmada kullanılan numuneler

Emülsiyonun kodu	Emülsiyon oluşturmada kullanılan yağ çeşidi	Emülsiyondaki yağ oranı (%)	Emülsiyonda kullanılan emülgatör	Sakkaroz
FK5-1	Kenevir yağı	15	Span80 PS20	+
FK5-2	Kenevir yağı	15	Span80 PS80	+
FK5-3	Kenevir yağı	15	Span80 AYL	+
FK5-4	Kenevir yağı	15	MDG PS20	+
FK5-5	Kenevir yağı	15	MDG PS80	+
FK5-6	Kenevir yağı	15	MDG AYL	+
FK5-7	Kenevir yağı	15	Span80 PS20	-
FK5-8	Kenevir yağı	15	Span80 PS80	-
FK5-9	Kenevir yağı	15	Span80 AYL	-

PS20:Polisorbat20, PS80:Polisorbat80, AYL:Ayçiçek lestini, MDG:Monodiglisericid

Tablo 3.4. %10'luk zeytinyağı ile araştırmada kullanılan numuneler

Emülsiyonun kodu	Emülsiyon oluşturmada kullanılan yağ çeşidi	Emülsiyondaki yağ oranı (%)	Emülsiyonda kullanılan emülgatör	sakkaroz
ZY1	Zeytinyağı	10	Span80 PS20	+
ZY2	Zeytinyağı	10	Span80 PS80	+
ZY3	Zeytinyağı	10	MDG PS20	+
ZY4	Zeytinyağı	10	MDG PS80	+
ZY5	Zeytinyağı	10	Span80 PS20	-
ZY6	Zeytinyağı	10	Span80 PS80	-

PS20:Polisorbat20, PS80:Polisorbat80, AYL:Ayçiçek lestini, MDG:Monodiglisericid

Tablo 3.5. %10'luk çörek otu yağı ile araştırmada kullanılan numuneler

Emülsiyonun numune	Emülsiyon oluşturmada kullanılan yağ çeşidi	Emülsiyondaki yağ oranı (%)	Emülsiyonda kullanılan emülgatör	Sakkaroz
ÇOY1	Çörekotu yağı	10	Span80 PS20	+
ÇOY2	Çörekotu yağı	10	Span80 PS80	+
ÇOY3	Çörekotu yağı	10	MDG PS20	+
ÇOY4	Çörekotu yağı	10	MDG PS80	+
ÇOY5	Çörekotu yağı	10	Span80 PS20	-
ÇOY6	Çörekotu yağı	10	Span80 PS80	-

PS20:Polisorbat20, PS80:Polisorbat80, AYL:Ayçiçek lestini, MDG:Monodigliserid

3.2.1. FT-IR Analizi

Yağlar ve emülsiyon örneklerinin FT-IR spektroskopik analizleri, Perkin Elmer Spectrum Two model FT-IR spektrofotometresi kullanılarak gerçekleştirilmiş; analizler sonucunda yağlar ve emülsiyonlardaki fonksiyonel gruplar ile muhtemel kimyasal yapı değişimleri belirlenmiştir.

3.2.2. Emülsiyon Aktivitesi

Emülsiyon aktivite indeksi (EAI) değerleri Hou ve arkadaşları tarafından verilen türbidimetri metodu kullanılarak ve aşağıdaki formül yardımıyla belirlendi (Hou, Yang vd., 2022). Metoda göre yeni hazırlanan emülsiyondan alınan 100 µL %0,1'lik 10 mL sodyum dodesilsülfat çözeltisi üzerine eklenerek 0. ve 24. saat sonraki 500 nm'deki absorbansları ölçülerek belirlendi. Değerleri belirlemek Shimadzu UV-1208 model UV-Vis spektrofotometresi cihazı kullanılmıştır.

$$EAI \left(\frac{m^2}{g} \right) = \frac{4.606 \times A_{500}}{C \times \varphi \times 1000} \times SF$$

Denklem 3.1. EAI denklemi

3.2.3. Kremalaşma İndeksi

Kremalaşma indeksi tayini gerçekleştirmek amacıyla 10 ml emũlsiyon rneği alınarak dereceli cam test tũpũne doldurulup (1.5-cm iç apx12-cm yũkseklik) ve +4  C' de 14 gũn boyunca izlenmiş 1., 7. ve 14. gũn analiz edilmiştir. Belirtilen sũreler sonunda toplam serum yũkseklięi (Hs) ve toplam emũlsiyon yũkseklięi (Ht) değerleri kaydedilerek aşağıdaki formũl aracılığıyla kremalaşma indeksi değeri belirlenmiştir (Aslan 2015).

$$\text{Kremalaşma İndeksi (\%)} = (Hs/Ht) \times 100$$

3.2.4. Partikũl Boyutu ve Zeta Potansiyel lũm

rnek emũlsiyonların partikũl boyutu ve zeta potansiyellerinin analizleri Erciyes Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma Merkezinde (ERNAM) yapılmıştır. Emũlsiyon numunelerine ait zeta potansiyeli ve parçacık boyutları Zetasizer ZS90 cihazı ile lũlmũřtur.

3.2.5. Renk Tayini

Hazırlanan emũlsiyonların renk değerlerinin tayinini x-rite certified service partner cihazı ile yapılmıştır.

3.2.6. Mikroskop Grũntũleri

Hazırlanan emũlsiyon örneklerinin morfolojileri hakkında bilgi edinmek için floresan mikroskobu ile 40x bũyũtme oranında grũntũler edinilmiştir. Emũlsiyonların mikroskopta grũnũr olması için örnek numunelere yağ fazı renklendirme özelliğine sahip Nile Red dye boyası ilave edilmiştir.

4. BULGULAR

4.1. Yağ Asidi Kompozisyonları

Kullanılan yağların GC-MS analizleri gerçekleştirildi Tablo 4.1.'de analiz sonuçları verilmiştir. Analiz sonuçları Tablo 2.1. ile verilen değerler ile karşılaştırıldığında linoleik asit, stearik asit ve oleik asidin miktarının biraz daha fazla olduğu görülüyor.

Tablo 4.1. Emülsiyonlarda kullanılan yağların yağ asidi kompozisyonları

RT	Yağ	Asidi	KY	ZY	COY
Kompozisyonu (%)					
9.334	Miristik asit, metil ester		0.04	0.02	0.18
10.988	Pentadekanoik asit, metil ester		-	-	0.03
12.751	Palmitik asit, metil ester		6.84	13.77	13.24
13.601	Palmitoleik asit, metil ester		0.11	1.09	0.18
14.556	Margarik asit, metil ester		0.06	0.17	0.08
15.349	Margoleik asit, metil ester		-	0.23	0.04
16.467	Stearik asit, metil ester		3.15	3.88	3.67
17.165	Oleik asit, metil ester		12.70	67.90	24.36
17.287	Elaidik asit, metil ester		0.77	2.31	1.03
18.484	Linoleik asit, metil ester		52.71	8.15	53.56

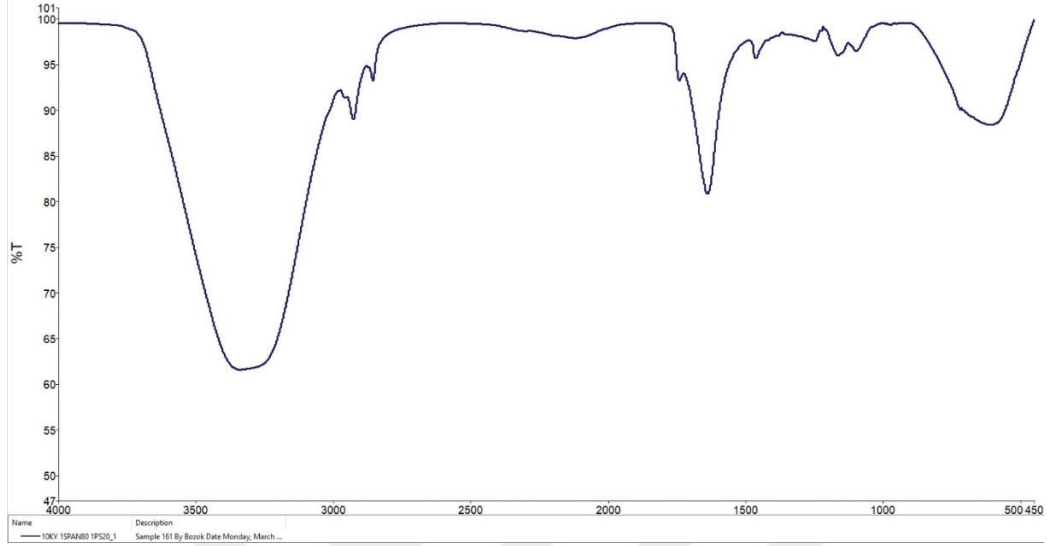
Tablo 4.1. (devamı) Emülsiyonlarda kullanılan yağların yağ asidi kompozisyonları

RT	Yağ Asidi Kompozisyonu (%)	KY	ZY	COY
19.256	Gama -Linolenik asit, metil ester	3.63	-	-
19.912	Alfa -Linolenik asit, metil ester	16.83	0.64	0.29
19.980	Araşidik asit, metil ester	0.91	0.55	0.23
20.605	Gondoik asit, metil ester	0.43	0.25	0.37
20.769	Stearidonik asit, metil ester	1.20	-	-
21.848	Cis -11,14-Eikosadienoik asit, metil ester	-	-	2.64
23.316	Behenik asit, metil ester	0.41	0.14	0.03
23.939	Erusik asit, metil ester	-	-	0.04
25.034	cis-13,16-Dokasadienoik asit, metil ester	-	-	0.03
25.506	Skualen	-	0.83	-
26.414	Lignoserik asit, metil ester	0.21	0.07	-

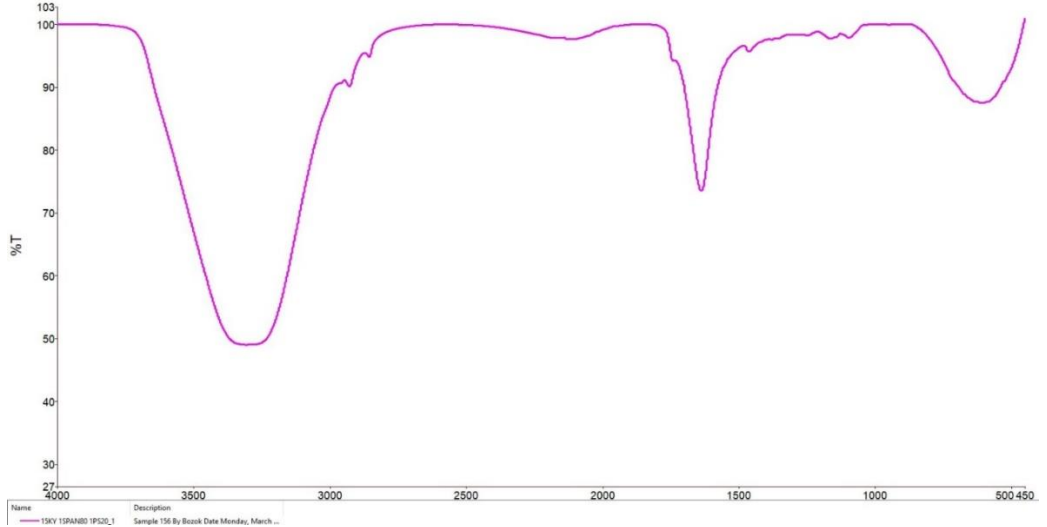
4.2. FT-IR Analizi Değerlendirilmesi

FTIR spektrumlarında kenevir yağı, zeytinyağı ve çörek otu yağı için $\sim 2920\text{--}2850\text{ cm}^{-1}$ 'de alifatik C–H gerilmeleri ve $\sim 1740\text{ cm}^{-1}$ civarında ester karbonil (C=O) bantları belirgin olup trigliserid yapısı doğrulamaktadır. %10 ve %15 kenevir yağı içeren, Span 80–Span 20 ile stabilize edilmiş emülsiyon spektrumlarında bu karakteristik bantların korunması, yağ fazının kimyasal yapısının emülsifikasyon sırasında değişmediğini göstermektedir. Emülsiyon spektrumlarında ayrıca $\sim 1100\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$ bölgesindeki C–O–C titreşimlerinin

belirginleşmesi, noniyonik emülgatörlerin varlığına işaret etmektedir. Yeni bant oluşumlarının gözlenmemesi, sistemde kimyasal reaksiyon değil fiziksel stabilizasyonun söz konusu olduğunu düşündürmektedir.

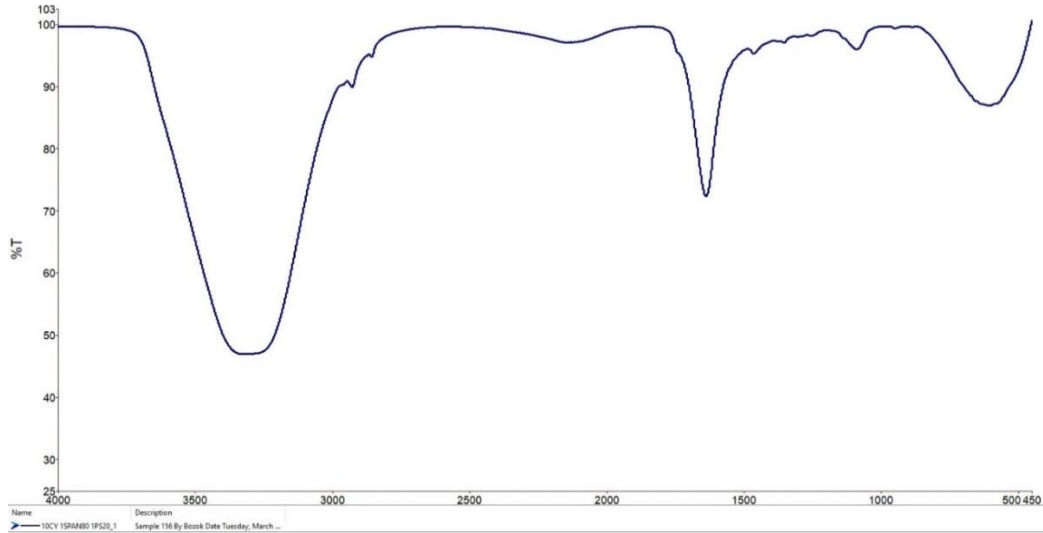


Şekil 4.1. FK1 numunesinin FT-IR spektrumu

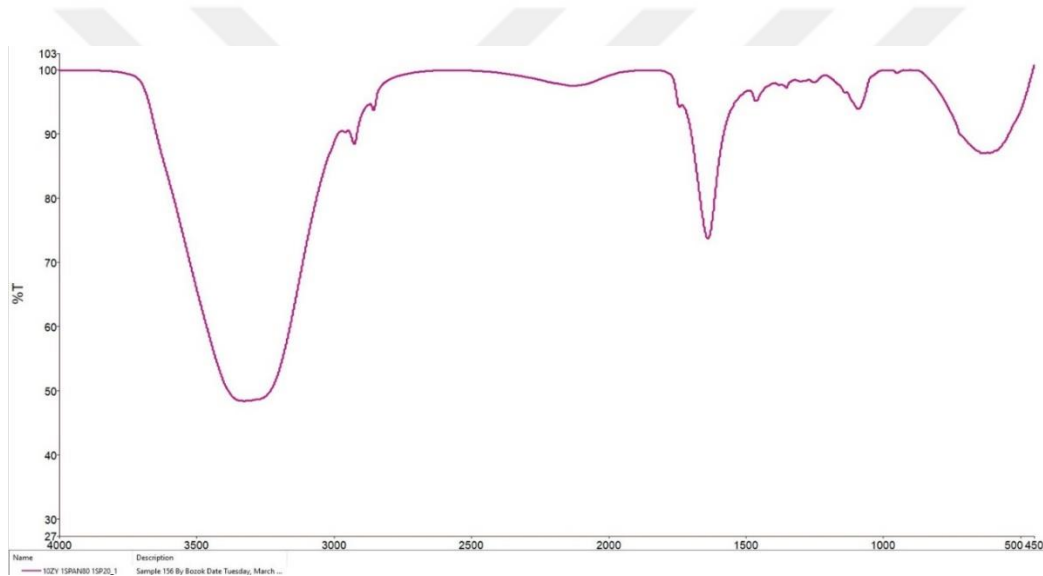


Şekil 4.2. FK5-1 numunesinin FT-IR spektrumu

COY ve ZY emülsiyonları içinde KY emülsiyonları için yapılan değerlendirmelerin geçerli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 4.3. ÇOY1 numunesinin FT-IR spektrumu



Şekil 4.4. ZY1 numunesinin FT-IR spektrumu

4.3. Zeta Potansiyeli ve Partikül Boyutlarının Değerlendirilmesi

Hazırlanmış emülsiyon örneklerinin zeta potansiyel sonuçları Tablo 4.2., Tablo 4.3.’de verilmiştir. Şekil 4.5.’de %5’lik kenevir yağı ile hazırlanan numunenin zeta potansiyeli Şekil 4.6.’de %10’luk kenevir yağı ile hazırlanan numunenin zeta potansiyeli Şekil 4.7’de %15’lik kenevir yağı ile hazırlanan numunenin zeta potansiyeli Şekil 4.10.’de %10’luk çörekotu yağ ile hazırlanan numunenin zeta potansiyeli Şekil 4.11.’de %10’luk zeytinyağı ile hazırlanan numunenin zeta potansiyeli Şekil 4.12’de %10’luk kenevir yağı ile çörekotu yağı ile hazırlanan numunenin zeta potansiyeli Şekil 4.13’de %10’luk kenevir yağı ve zeytinyağı ile hazırlanan numunelerin zeta potansiyelleri gösterilmiştir. Zeta potansiyel sonuçları incelendiğinde en yüksek zeta potansiyel FK7 numunesinde (-49,6 mV) görülürken en düşük

zeta potansiyel değeri FK5-5 numunesinde (-21,3 mV) görülmüştür. Genel olarak yağ oranının artmasıyla zeta potansiyelinde azalma olmuştur. Numuneler incelendiğinde kenevir yağı, çörekotu yağı karışımı olan numune ve kenevir yağı, zeytinyağı karışımı olan numunelerin zeta potansiyel değerleri sadece zeytinyağı ve çörekotu yağı ile hazırlanan numunelerden daha yüksek sonuçlanmıştır.

Tablo 4.2. kenevir yağı emülsiyonu ZP, PS sonuçları ve pH değeri

Numune	KY (%)	Emülgatör Sistemi	Sakkaroz	ZP (mV)	PS (nm)
FK1-5	5	Span 80 + Var PS20		-28.1	210.9
FK2-5	5	Span 80 + Var PS80		-31.5	189.9
FK3-5	5	Span 80 + Var AYL		-30.2	200.7
FK4-5	5	MDG + Var PS20		-26.8	164.0
FK5-5	5	Span 80 + Var PS80		-21.3	208.8
FK6-5	5	Span 80 + Yok PS20		-40.4	196.7
FK7-5	5	Span 80 + Yok PS80		-35.3	172.0
FK1	10	Span 80 + Var PS20		-46.8	355.8
FK2	10	Span 80 + Var PS80		-47.5	342.2
FK3	10	Span 80 + Var AYL		-47.7	322.5
FK4	10	MDG + Var PS20		-35.1	231.9
FK5	10	MDG + Var PS80		-40.4	353.6

Tablo 4.2. (devamı) Kenevir yağı emülsiyonu ZP, PS sonuçları ve pH değeri

Numune	KY (%)	Emülgatör Sistemi	Sakkaroz	ZP (mV)	PS (nm)
FK6	10	MDG + AYL	Var	-43.8	312.9
FK7	10	Span 80 + PS20	Yok	-49.6	366.2
FK8	10	Span 80 + PS80	Yok	-48.7	511.4
FK5-1	15	Span 80 + PS20	Var	-42.4	365.9
FK5-2	15	Span 80 + PS80	Var	-41.8	368.9
FK5-3	15	Span 80 + AYL	Var	-39.2	278.9
FK5-4	15	MDG + PS20	Var	-43.5	323.2
FK5-5	15	MDG + PS80	Var	-35.4	279.4
FK5-6	15	MDG + AYL	Var	-43.1	430.4
FK5-7	15	Span 80 + PS20	Yok	-48.0	5,62
FK5-8	15	Span 80 + PS80	Yok	-46.2	5,78
FK5-9	15	Span 80 + AYL	Yok	-46.2	-

Hazırlanan numunelerde zeta potansiyel değerlerinin -20 mV ile -50 mV aralığında olması, sistemlerin elektrostatik olarak kararlı olduğunu göstermektedir. Genel olarak zeta potansiyel değeri -30 mV büyük olan emülsiyonların daha stabil olduğu kabul edildiğinden, özellikle sakkaroz içermeyen ve yüksek KY oranına sahip numunelerde stabilitenin arttığı görülmüştür (Amiri-Rigi vd., 2023).

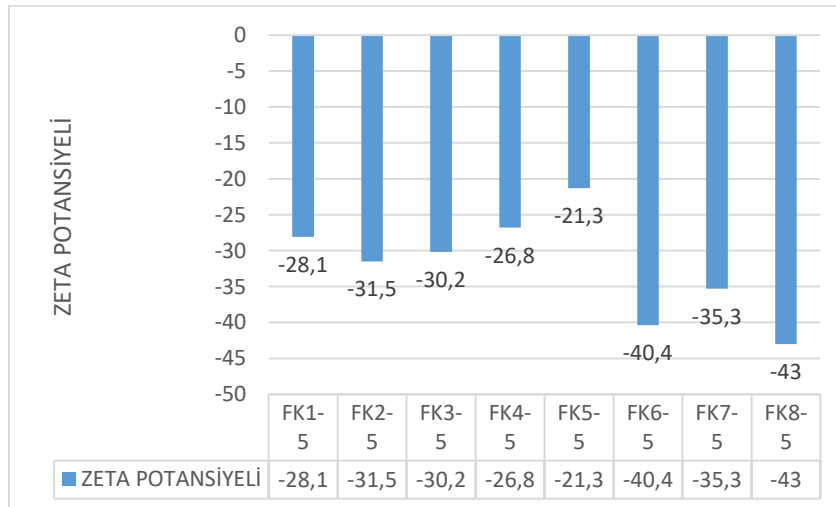
%5 KY içeren numunelerde partikül boyutları ~160–210 nm aralığında olup, daha küçük ve homojen damlacıklar oluşturmuş. Bu durum düşük yağ fazında emülgatörlerin arayüzeyi daha etkin kapladığını gösteriyor. %10 ve %15 KY oranlarında ise PS değerlerinin belirgin şekilde arttığı (~230–510 nm), yağ oranı yükseldikçe damlacık koalesansı ve büyüme eğiliminin arttığı anlaşılmıştır.

Span 80 + PS20 / PS80 kombinasyonları, özellikle %5 KY’de küçük partikül boyutları ve yeterli ZP değerleri ile iyi bir stabilite ile sonuçlanmıştır.

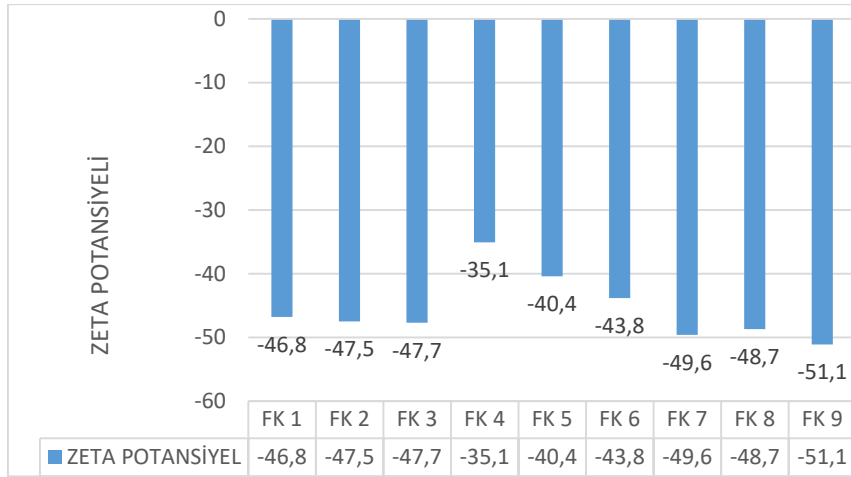
AYL içeren sistemlerde, bazı numunelerde daha küçük PS değerleri elde edilse de (ör. FK3-5, FK5-3), yüksek yağ oranlarında partikül boyutunda dalgalanmalar var; bu da AYL’nin sistem stabilitesini yağ oranına daha duyarlı hale getirdiğini gösteriyor.

Sakkaroz içeren numunelerde genellikle ZP değerlerinin mutlak değeri düşmüş, buna karşın bazı sistemlerde partikül boyutu azalmış. Bu durum sakkarozun sürekli faz viskozitesini artırarak fiziksel stabiliteyi desteklediğini, ancak elektrostatik itmeleri kısmen zayıflattığını gösteriyor. Sakkaroz içermeyen sistemlerde ZP değerleri –45 mV üzerinde elde edilmiş, fakat bazı numunelerde partikül boyutunun arttığı (özellikle %10 KY, FK8) görülmüştür.

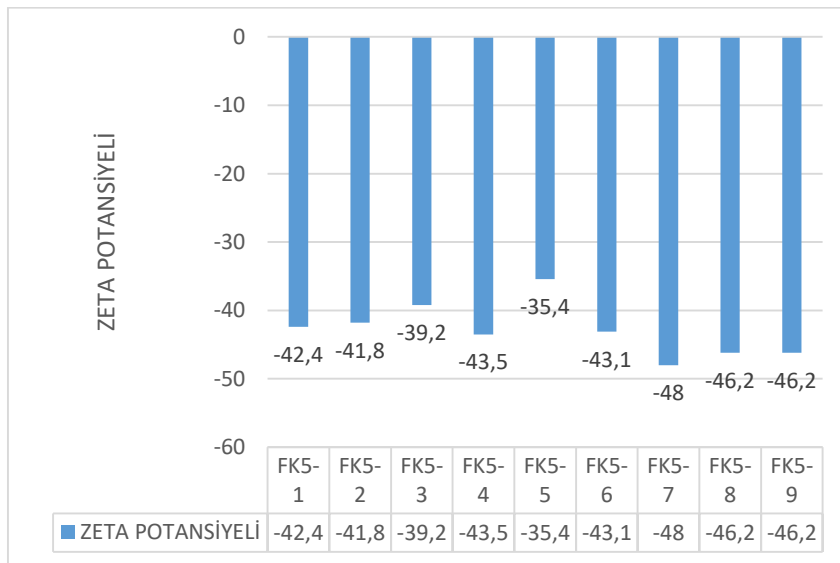
Genel olarak kenevir yağı oranının artması emülsiyonlarda partikül boyutunu artırırken, emülgatör sisteminin tipi stabilite üzerinde belirleyici olmuş. Span 80 + polisorbattan oluşan sistemler düşük yağ oranlarında daha homojen damlacıklar oluşturmuş, MDG içeren sistemler küçük partikül boyutları görüyor. Sakkaroz, fiziksel stabiliteyi destekleyici bir rol oynarken zeta potansiyel değerlerini kısmen düşürmektedir. En dengeli stabilite düşük KY oranı ve uygun emülgatör kombinasyonlarında elde edilmiştir.



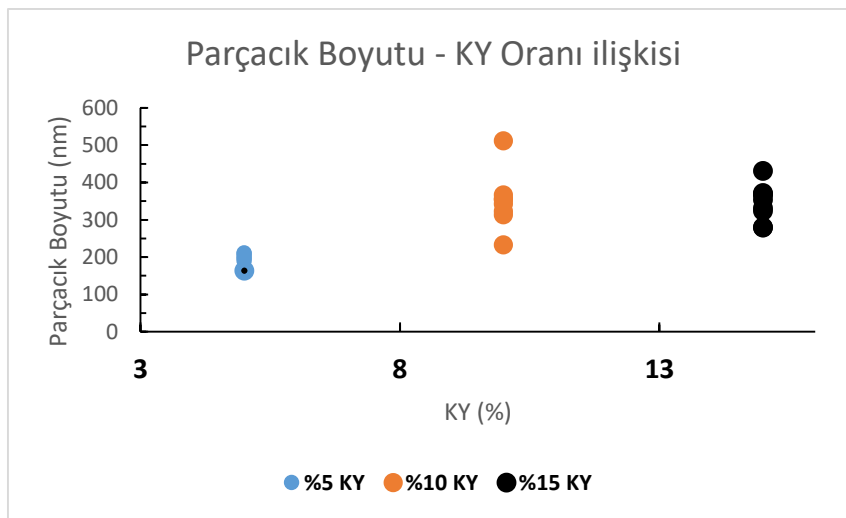
Şekil 4.5. %5’lik kenevir yağı ile hazırlanan emülsiyonun zeta potansiyeli



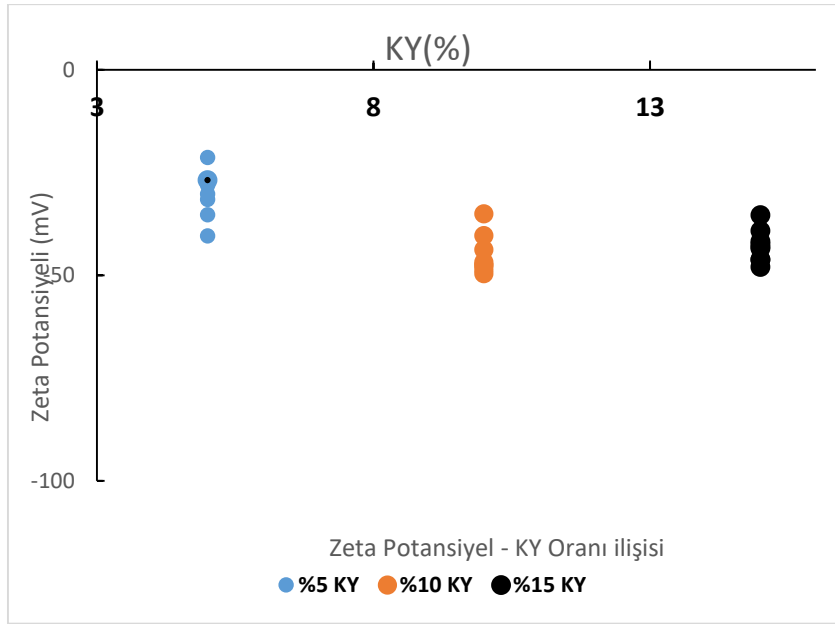
Şekil 4.6. %10'luk kenevir yağı ile hazırlanan emülsiyonun zeta potansiyeli



Şekil 4.7. %15'luk kenevir yağı ile hazırlanan emülsiyonun zeta potansiyeli



Şekil 4.8. Kenevir yağı emülsiyon numunelerinin PS grafiği



Şekil 4.9. Kenevir yağı emülsiyon numunelerinin ZP grafiği

Tablo 4.3. %10'luk zeytinyağı ve çörekotu yağı PS, ZP sonuçları ve pH değeri

Numune	Bileşim (%)	Sakkaroz	ZETA	PS (nm)	pH değeri
ZY1	10 ZY 1 span80 1 ps20	var	-35,5 mV	379,2 d.nm	5,54
ZY2	10 ZY 1 span80 1 ps80	var	-34,0 mV	306,0 d.nm	6,14
ZY3	10 ZY 1 MDG 1 PS20	var	-28,0 mV	311,7 d.nm	4,11
ZY4	10 ZY 1 MDG 1PS80	var	-25,4 mV	269,2 d.nm	4,42
ZY5	10 ZY 1 span80 1 ps20	yok	-34,4 mV	361,8 d.nm	6,21
ZY6	10 ZY 1 span80 1 ps80	yok	-37,9 mV	305,7 d.nm	6,31

Tablo 4.3. (devamı) %10'luk zeytinyağı ve çörekotu yağı PS, ZP sonuçları ve pH değeri

Numune	Bileşim (%)	Sakkaroz	ZETA	PS (nm)	pH değeri
ÇOY1	10 ÇY 1 span80 1 ps20	var	-39,6 mV	325,7 d.nm	6,35
ÇOY2	10 ÇY 1 span80 1 ps80	var	-38,9 mV	243,0 d.nm	5,93
ÇOY3	10 ÇY 1 MDG 1 ps20	var	-32,6 mV	317,4 d.nm	4,02
ÇOY4	10 ÇY 1 MDG 1 p80	var	-29,0 mV	326,4 d.nm	4,46
ÇOY5	10 ÇY 1 span80 1 ps20	yok	-40,0 mV	338,8 d.nm	5,93
ÇOY6	10ÇY 1 span80 1 ps80	yok	38,1 mV	324,2 d.nm	8,16

%10 zeytinyağı içeren emülsiyonların zeta potansiyeli ve parçacık boyutu değerleri, kullanılan emülgatörlerin kimyasal yapıları, hidrofilik–lipofilik denge (HLB) değerleri ve formülasyondaki toplam emülgatör miktarına doğrudan bağlı olarak değişkenlik göstermiştir.

Çalışmada kullanılan Span 80, Polisorbat 20 (PS20) ve Polisorbat 80 (PS80) iyonik olmayan emülgatörler olup, emülsiyon stabilitesi esas olarak sterik stabilizasyon mekanizması üzerinden sağlanmaktadır. Bununla birlikte, polisorbatların polioksietilen zincirleri nedeniyle damlacık yüzeyinde daha kalın bir hidrasyon tabakası oluşturduğu ve bu durumun ölçülen zeta potansiyeli değerlerini dolaylı olarak etkilediği bilinmektedir.

Span 80–PS20 ve Span 80–PS80 kombinasyonları ile hazırlanan numunelerde (ZY1, ZY2, ZY5 ve ZY6) mutlak zeta potansiyeli değerlerinin –30 mV'un üzerinde olduğu gözlenmiştir.

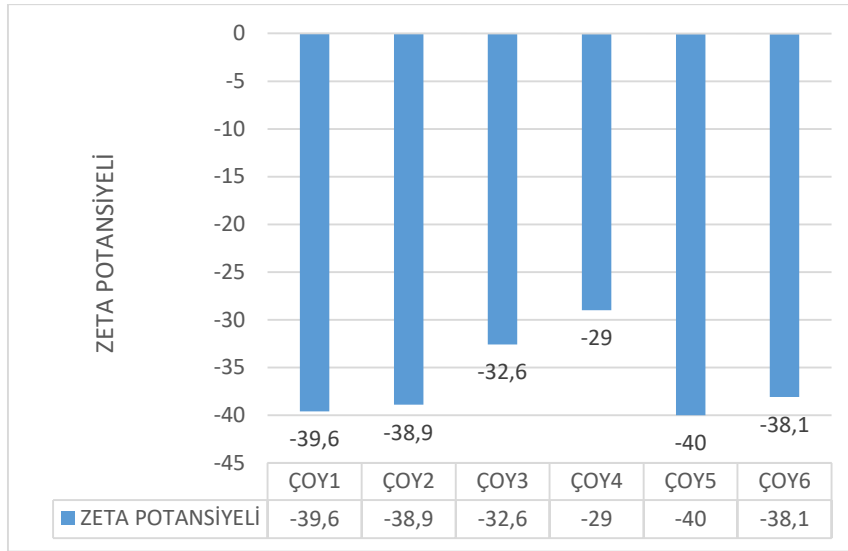
Monodigliserid (MDG) içeren ZY4 numunesinde en düşük ortalama parçacık boyutu (269,2 nm) elde edilmiştir. MDG'nin düşük HLB değerine sahip olması ve yağ fazına yüksek afinitesi, yağ/su arayüzeyinde daha sıkı bir moleküler paketlenme sağlamış ve damlacıkların daha küçük boyutlarda stabilize edilmesine katkıda bulunmuştur. Ancak MDG'nin iyonik olmayan ve kısa hidrofilik baş grubuna sahip olması nedeniyle, bu numunede zeta potansiyeli değerinin görece düşük kaldığı ($-25,4$ mV) görülmüştür.

%10 çörekotuyağı içeren emülsiyonların zeta potansiyeli ve parçacık boyutu değerleri, kullanılan emülgatörlerin kimyasal yapıları, hidrofilik–lipofilik denge (HLB) değerleri ve formülasyondaki toplam emülgatör miktarına doğrudan bağlı olarak değişkenlik göstermiştir.

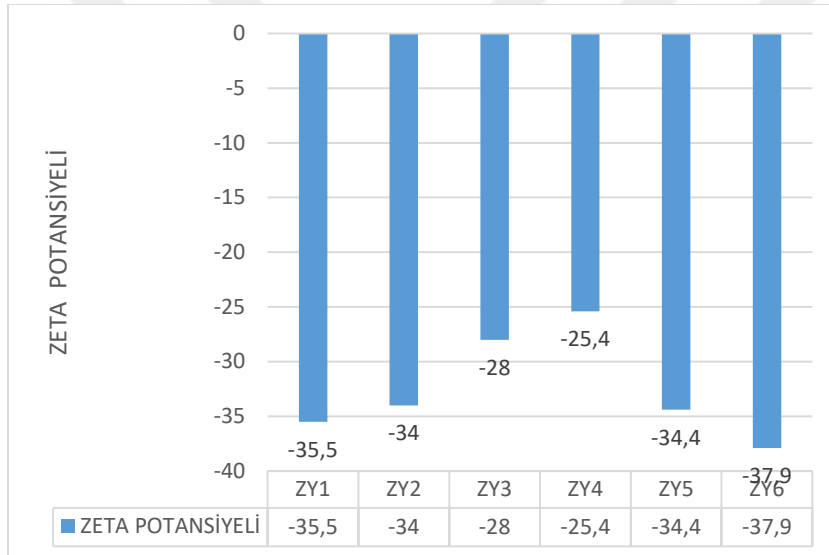
Span 80–PS20 kombinasyonu ile hazırlanan numunede (ÇOY5), mutlak zeta potansiyeli değerinin $-40,0$ mV olduğu gözlenmiştir. Özellikle sakkaroz içermeyen ÇOY5 numunesinin $-40,0$ mV gibi yüksek bir mutlak zeta potansiyeli değeri elde edilmiştir. Bu durum, sistemdeki düşük molekül ağırlıklı yardımcı bileşenlerin bulunmamasının, emülgatörlerin damlacık yüzeyine daha etkin adsorpsiyonuna olanak sağladığını ve yüzey yük yoğunluğunu artırdığını göstermektedir.

Monodigliserid (MDG) içeren ÇOY3 numunesinde en düşük ortalama parçacık boyutu (317,4 nm) elde edilmiştir. MDG'nin düşük HLB değerine sahip olması ve yağ fazına yüksek afinitesi, yağ/su arayüzeyinde daha sıkı bir moleküler paketlenme sağlamış ve damlacıkların daha küçük boyutlarda stabilize edilmesine katkıda bulunmuştur. Ancak MDG'nin iyonik olmayan ve kısa hidrofilik baş grubuna sahip olması nedeniyle, bu numunede zeta potansiyeli değerinin görece düşük kaldığı ($-32,1$ mV) belirlenmiştir.

Sonuç olarak, uygun HLB dengesinin sağlanması, daha yüksek mutlak zeta potansiyeli ve daha küçük damlacık boyutlarının elde edilmesinde kritik rol oynamaktadır.



Şekil 4.10. %10'luk çörekotu yağı ile hazırlanan emülsiyonun zeta potansiyeli grafiği



Şekil 4.11. %10'luk zeytinyağı ile hazırlanan emülsiyonun zeta potansiyeli

Tablo 4.4. %10'luk kenevir yağı-çörekotu yağı ve kenevir yağı-zeytin yağı PS, ZP sonuçları ve pH değeri

Numune	Bileşim (%)	Sakkaroz	ZP (mV)	PS (nm)	pH değeri
KY-COY-1	5 KY -5 COY 1 span80 1 ps20	var	-48,4	314,9	6,38
KY-COY-2	5 KY -5 COY 1 span80 1 ps80	var	-47,5	242,6	6,43

Tablo 4.4. (devamı) %10'luk kenevir yağı-çörekotu yağı ve kenevir yağı-zeytin yağı PS, ZP sonuçları ve pH değeri

Numune	Bileşim (%)	Sakkaroz	ZP (mV)	PS (nm)	pH değeri
KY-COY-3	5 KY -5 COY				
	1 span 80	yok	-44,4	361,8	6,38
	1 ps 20				
KY-COY-4	5 KY -5 COY				
	1 span 80	yok	-45,5	264,3	6,60
	1 ps 80				
KY-ZY-1	5 KY -5 ZY				
	1 span80				
	1 ps20	var	-48,4	286,9	6,26
	12 sakkaroz				
KY-ZY-2	5 KY -5 ZY				
	1 span80				
	1 ps80	var	-45,3	249,2	6,53
KY-ZY-3	5 KY -5 ZY				
	1 span 80	yok	-46,5	309,7	6,50
	1 ps 20				
KY-ZY-4	5 KY -5 ZY				
	1 span80	yok	-41,6		6,55
	1 ps80			161,4	

%10 kenevir çekirdeği yağı ve çörekotu yağı içeren emülsiyonların zeta potansiyeli ve parçacık boyutu değerleri, kullanılan emülgatörlerin kimyasal yapıları, hidrofilik-lipofilik denge (HLB) değerleri ve formülasyondaki toplam emülgatör miktarına doğrudan bağlı olarak değişkenlik göstermiştir.

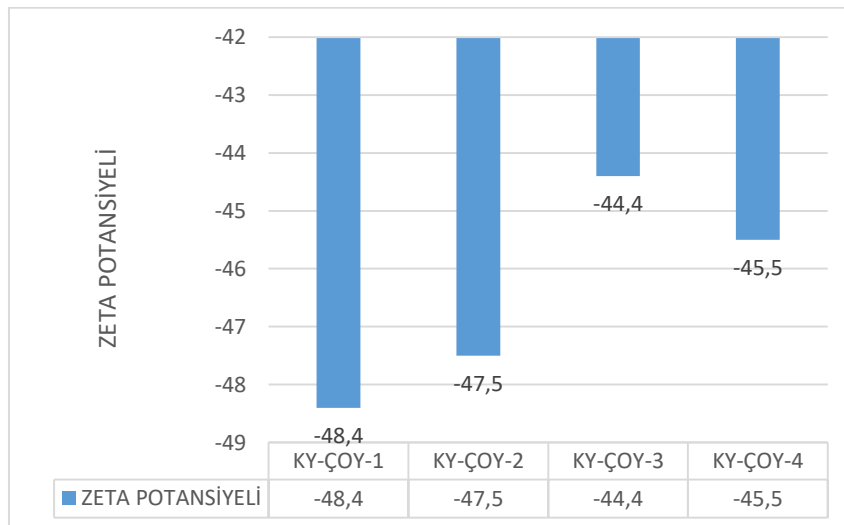
Çalışmada kullanılan Span 80, Polisorbat 20 (PS20) ve Polisorbat 80 (PS80) iyonik olmayan emülgatörler olup, emülsiyon stabilitesi esas olarak sterik stabilizasyon mekanizması üzerinden sağlanmaktadır. Bununla birlikte, polisorbatların polioksietilen zincirleri

nedeniyle damlacık yüzeyinde daha kalın bir hidrasyon tabakası oluşturduğu ve bu durumun ölçülen zeta potansiyeli değerlerini dolaylı olarak etkilediği bilinmektedir.

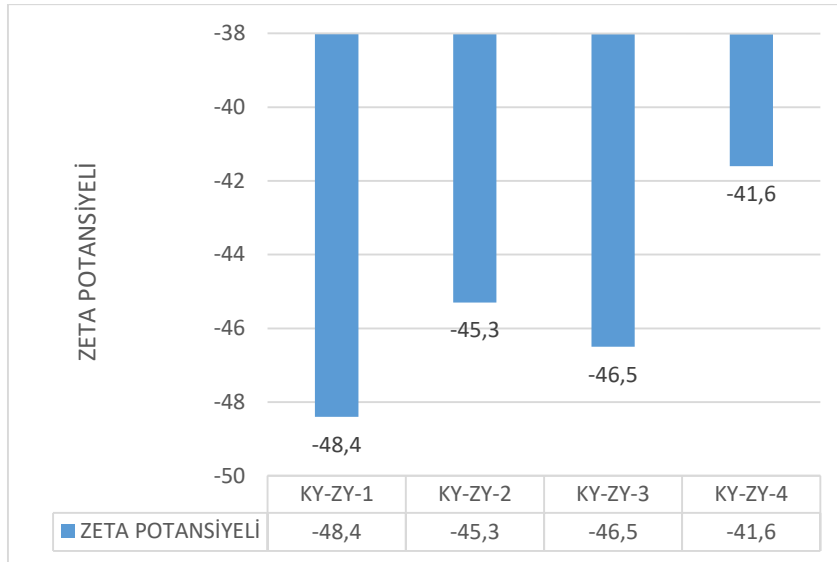
Span 80–PS20 ve Span 80–PS80 kombinasyonları ile hazırlanan numuneler (KY-COY-1, KY-COY-2, KY-COY-3 ve KY-COY-4), mutlak zeta potansiyeli değerlerinin -40 mV'un üzerinde olduğu gözlenmiştir. Özellikle sakkaroz içermeyen KY-COY3 ve KY-COY4 numunesinde $-44,4$ mV ve $-45,5$ mV gibi yüksek bir mutlak zeta potansiyeli değeri elde edilmiştir. Bu durum, sistemdeki düşük molekül ağırlıklı yardımcı bileşenlerin bulunmamasının, emülgatörlerin damlacık yüzeyine daha etkin absorpsiyonuna olanak sağladığını ve yüzey yük yoğunluğunu artırdığını göstermektedir. %10 kenevir çekirdeği yağı ve zeytinyağı içeren emülsiyonların zeta potansiyeli ve parçacık boyutu değerleri, kullanılan emülgatörlerin kimyasal yapıları, hidrofilik–lipofilik denge (HLB) değerleri ve formülasyondaki toplam emülgatör miktarına doğrudan bağlı olarak değişkenlik göstermiştir.

Çalışmada kullanılan Span 80, Polisorbat 20 (PS20) ve Polisorbat 80 (PS80) iyonik olmayan emülgatörler olup, emülsiyon stabilitesi esas olarak sterik stabilizasyon mekanizması üzerinden sağlanmaktadır. Bununla birlikte, polisorbatların polioksietilen zincirleri nedeniyle damlacık yüzeyinde daha kalın bir hidrasyon tabakası oluşturduğu ve bu durumun ölçülen zeta potansiyeli değerlerini dolaylı olarak etkilediği bilinmektedir.

Span 80–PS20 ve Span 80–PS80 kombinasyonları ile hazırlanan numuneler (KY-ZY-1, KY-ZY-2, KY-ZY-3 ve KY-ZY-4), mutlak zeta potansiyeli değerlerinin -40 mV'un üzerinde olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.12. %10'luk kenevir yağı ve çörekotu yağı ile hazırlanan emülsiyonun zeta potansiyeli



Şekil 4.13. %10'luk kenevir yağı ve zeytinyağı ile hazırlanan emülsiyonun zeta potansiyeli

4.4. Emülsiyon Aktivitesi

Hazırladığımız emülsiyon numunelerini aktivitelerini gözlemlemek için ilk olarak farklı oranlarda yağ kullanarak hazırladığımız numunelerinin 0. saat ve 24. saatlerde aktiviteleri belirlenmiştir Tablo 4.4.'te gösterilmiştir. Daha sonra %10'luk yağ oranında %50-50 olacak şekilde kenevir yağı-çörekotu yağı ve kenevir yağı-zeytinyağı karışımlarının emülsiyonları hazırlandı hazırlanan numunelerin yine 0. saat ve 24. saatlerde aktiviteleri belirlendi. Tablo 4.5 'te gösterilmiştir.

Aktivite sonuçları incelendiğinde genellikle numunelerin yağ oranı arttıkça emülsiyonların aktivite indeksi değeri arttığı gözlemlenmiştir. Hazırlanan numunelerinin EAI grafikleri Şekil 4.14., Şekil 4.15. ve Şekil 4.16. 'da gösterilmiştir. Grafik sonucuna göre içerisinde sakkaroz olmayan numunelerde daha yüksek EAI değeri belirlenmiştir.

Tablo 4.5. %5'lik, %10'luk ve %15'lik kenevir yağı' nın absorbans ve EAI değerleri

Numune	EAI (0. saat)	EAI (24. saat)
FK1-5	76,05	81,92
FK2-5	74,73	86,89
FK4-5	46,20	59,80
FK5-5	20,01	41,71
FK6-5	408,58	509,68
FK7-5	464,79	533,17

Tablo 4.5. (devamı) %5'lik, %10'luk ve%15'lik kenevir yağı' nın absorbans ve EAI değerleri

Numune	EAI (0. saat)	EAI (24. saat)
FK1	64,63	73,89
FK2	73,44	73,89
FK4	34,99	58,99
FK5	55,40	74,37
FK7	514,08	520,59
FK8	517,23	517,23
FK5-1	43,22	49,23
FK5-2	48,93	48,93
FK5-4	49,55	49,23
FK5-5	43,06	49,23
FK5-7	344,61	344,61
FK5-8	342,51	344,61

%5 kenevir yağı içeren emülsiyonlar Span 80 , Polisorbat (20 veya 80) içeren sistemler, MDG + Polisorbat sistemlerine kıyasla belirgin şekilde daha yüksek EAI değerleri göstermiştir.

Bu durum, Span 80'in hidrofobik karakteri ile polisorbatların hidrofilik yapısının birlikte çalışarak yağ-su arayüzünde daha etkin adsorpsiyon sağlamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

MDG içeren örneklerde düşük EAI, emülgatörün arayüzde yeterince hızlı ve etkili film oluşturamadığını gösteriyor. Tüm numunelerde 24 saat sonunda EAI artışı görülmesi, sakkaroz varlığında arayüz stabilizasyonunun zamanla güçlendiğini göstermektedir.

%10 kenevir yağı içeren emülsiyonlar Span 80 ve Polisorbat sistemleri, hem başlangıçta hem 24 saat sonunda yüksek ve stabil EAI değerleri belirlenmiştir..

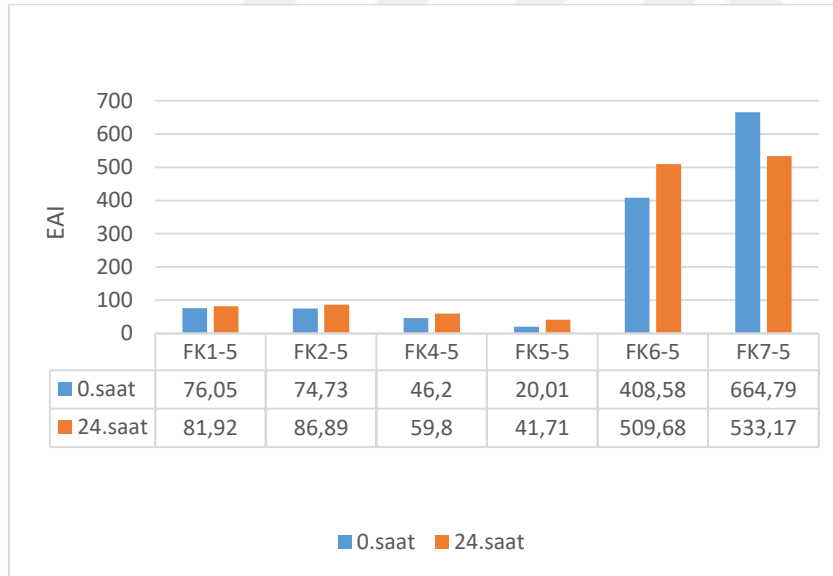
Özellikle sakkaroz içermeyen sistemlerde (FK7, FK8) EAI'nin çok yüksek çıkması, ölçüm koşullarında daha fazla arayüz alanının oluştuğunu ve emülgatörlerin arayüzü etkin şekilde kapladığını düşündürmektedir.

MDG ve Polisorbat sistemlerinde EAI daha düşük olmakla birlikte, 24 saat sonunda belirgin artış gözlenmesi, zamanla emülgatör yeniden düzenlenmesi ile açıklanabilir.

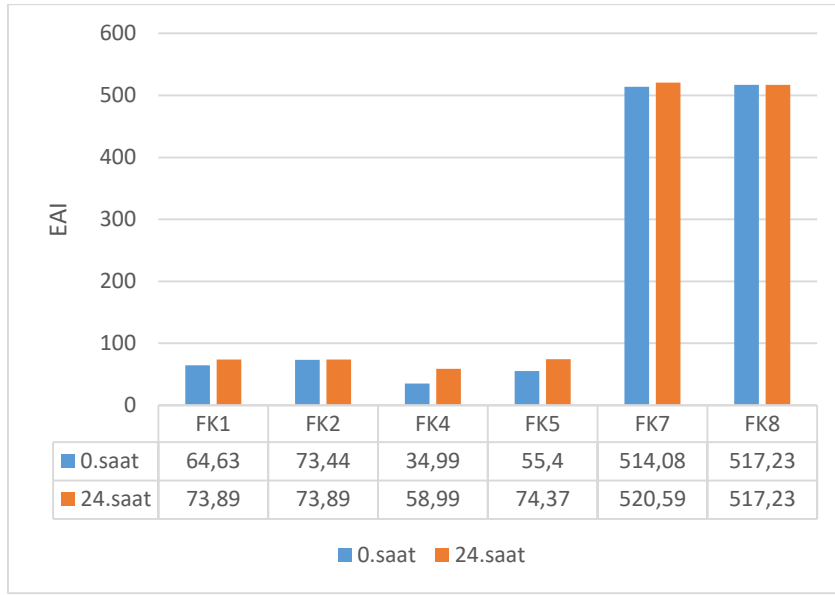
%15 kenevir yağı içeren emülsiyon numuneleri artan yağ oranı ile birlikte, sakkaroz içeren sistemlerde EAI değerlerinin genel olarak düştüğü görülüyor. Bu durum, artan yağ fazının oluşturduğu yeni arayüz alanının mevcut emülgatör miktarıyla tam olarak kapatılamamasından kaynaklandığından düşünülmektedir.

Buna karşın sakkaroz içermeyen Span 80 ve Polisorbat sistemlerinde (FK5-7, FK5-8) EAI'nin yüksek kalması, bu kombinasyonun yüksek yağ yükü altında bile etkili emülsifikasyon sağladığını göstermektedir.

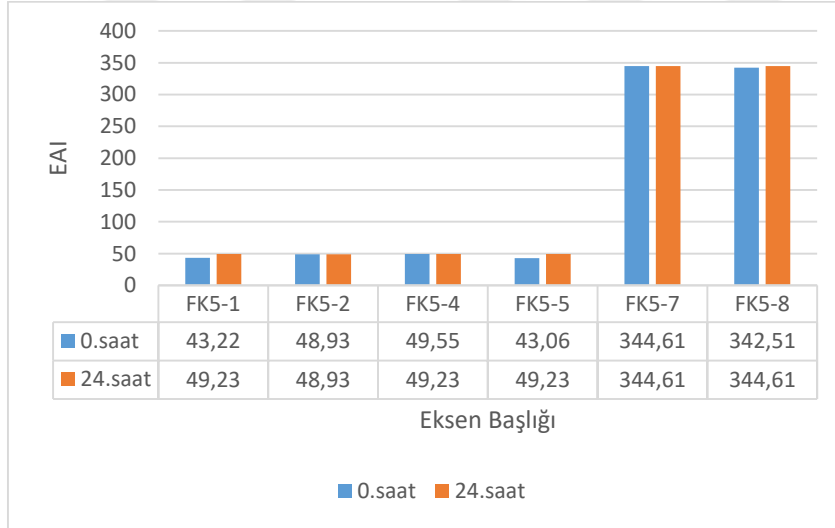
Genel olarak EAI sonuçları, kenevir yağı oranı arttıkça emülsiyonların emülsifikasyon etkinliğinin kullanılan emülgatör sistemine güçlü biçimde bağlı olduğunu gösteriyor. Span 80 ve polisorbat kombinasyonları, tüm yağ oranlarında MDG içeren sistemlere kıyasla daha yüksek EAI değerleri vererek yağ-su arayüzünde daha etkin adsorpsiyon ve film oluşumu sağlamış. Sakkaroz varlığı düşük ve orta yağ oranlarında EAI'nin zamanla artmasına katkı sağlarken, yüksek yağ oranlarında emülgatör miktarının sınırlayıcı olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar, Span80 ve polisorbat sistemlerinin kenevir yağı bazlı emülsiyonlar için daha uygun bir emülgatör kombinasyonu olduğunu ile sonuçlanmıştır.



Şekil 4.14. %5'lik kenevir yağı bileşiminin EAI grafiği



Şekil 4.15. %10'luk kenevir yağı bileşiminin EAI grafiği



Şekil 4.16. %15'lik kenevir yağı bileşiminin EAI grafiği

Tablo 4.6. %10'luk kenevir yağı-çörekotu yağı ve kenevir yağı-zeytinyağı' nın absorbans ve EAI değerler

Numune	EAI (0. saat)	EAI (24. saat)
KY-COY-1	118,59	138,67
KY-COY-2	129,74	132,67
KY-COY-3	1034,46	1041,17
KY-COY-4	904,83	1028,16
KY-ZY-1	147,78	150,71
KY-ZY-2	146,88	121,83
KY-ZY-3	1041,17	1034,46
KY-ZY-4	904,83	928,75

Absorbans değerleri, emülsiyon sistemlerinde damlacık dağılımı ve saçılan ışık miktarı ile ilişkili olup, dolaylı olarak damlacık boyutu ve homojenlik hakkında bilgi vermektedir. Daha yüksek Abs değerleri genellikle daha küçük ve daha homojen dağılmış yağ damlacıklarına işaret eder.

Span 80 içeren tüm sistemlerde absorbans değerlerinin yüksek olduğu görölmektedir. Span 80'in lipofilik karakteri hem kenevir çekirdeği yağı hem de çörekotu yağının trigliserit yapısıyla uyumlu bir arayüzey etkileşimi sağlamış. Bu durum, karışık yağ fazına rağmen emülsiyon oluşumunun etkin şekilde gerçekleştiğini göstermiştir.

Sakkaroz içermeyen sistemlerde absorbans değerlerinin daha yüksek veya daha kararlı seyretmesi, Span 80'in arayüzey aktivitesinin viskozite sınırlaması olmaksızın daha etkili olduğu belirlenmiştir.

PS80 içeren sistemlerde absorbans değerleri, PS20 içerenler kıyaslandığında genellikle yüksek ve daha kararlı bulunmuştur. PS80'in oleat zinciri içeren hidrofobik yapısı, özellikle çörekotu yağında bulunan uçucu ve aromatik bileşenlerle daha güçlü hidrofobik etkileşimler kurduğu düşünülmektedir.

Bu durum, yağ damlacıklarının daha iyi stabilize edilmesine ve ışık saçılımının artmasına katkı sağlamış, dolayısıyla absorbans değerlerinin yüksek kalması ile sonuçlanmıştır.

PS20 içeren sistemlerde absorbans değerlerinin daha değişken olduğu görülüyor. PS20'nin daha kısa ve doymuş yağ asidi zinciri, karışık yağ fazında (KY + COY) yeterli arayüzey sağlayamamış olabilir. Bu durumda da, bazı sistemlerde başlangıçta yüksek absorbans elde edilmesine rağmen 24 saat sonunda değerlerin düşmesiyle kendini göstermektedir. Bu azalma, zamanla damlacık büyümesi veya kısmi flokülasyon ile ilişkilendirilebilir.

Sakkaroz içeren sistemlerde absorbans değerlerinin başlangıçta yüksek olmasına rağmen, 24 saat sonunda belirli değişimler gösterdiği görülüyor. Sakkarozun sürekli faz viskozitesini artırması, emülgatörlerin yağ-su arayüzeyine difüzyonunu yavaşlatmış olabilir. Bu durum, karışık yağ fazı içeren sistemlerde arayüzey düzenlenmesinin zamanla gerçekleşmesine neden olduğu belirlenmiştir.

Absorbans değerlerindeki zamanla görölen değişimler, bu karışık yağ fazının emülsiyon sisteminde dinamik bir arayüzey yapısı oluşturduğunu göstermektedir.

Toplam %10 yağ içeren ve kenevir çekirdeği yağı-çörekotu yağı karışımı kullanılan emülsiyonlarda absorbans değerleri üzerinde Span 80 kullanımı, Polisorbat türü ve sakkaroz

varlığı belirleyici olmuş. PS80 içeren sistemlerin daha yüksek ve daha stabil absorbands değerleri sergilemesi, bu emülgatörün karışık yağ fazlarında daha etkin bir stabilizasyon sağladığını göstermektedir.

Absorbans değerleri, emülsiyon sistemlerinde ışık saçılımı ile ilişkili olup, dolaylı olarak damlacık boyutu, dağılım homojenliği ve kısa süreli fiziksel stabilite hakkında bilgi vermektedir. Daha yüksek ve zamanla stabil kalan absorbands değerleri, daha küçük ve homojen dağılmış yağ damlacıklarının varlığına işaret etmektedir.

Span 80 içeren tüm KY–ZY sistemlerinde absorbands değerlerinin yüksek olduğu görülmekte. Span 80'in lipofilik karakteri, özellikle zeytin yağının oleik asit ağırlıklı trigliserit yapısı ile uyumlu bir arayüzey etkileşimi sağlamıştır. Bu uyum, karışık yağ fazına rağmen emülsiyon oluşumunun etkin şekilde gerçekleştiğini göstermiştir.

Sakkaroz içermeyen sistemlerde absorbands değerlerinin daha stabil seyretmesi, Span 80'in arayüzey aktivitesinin viskozite kısıtlaması olmadan daha etkin ortaya çıktığını gösterir.

PS80 içeren sistemlerde absorbands değerlerinin, PS20 içeren muadillerine kıyasla daha değişken olduğu gözlemlenmiştir. Zeytin yağının yüksek oleik asit içeriği ile PS80'in oleat zinciri arasındaki benzerlik, başlangıçta güçlü bir arayüzey etkileşimi sağlamış; ancak zamanla arayüzeyde yeniden düzenlenmeler meydana gelmiştir. Bu durum, bazı numunelerde 24 saat sonunda absorbands değerlerinin düşmesiyle kendini göstermektedir.

PS20 içeren sistemlerde absorbands değerlerinin genel olarak yüksek ve daha stabil olduğu görülmektedir. PS20'nin daha kısa ve doymuş yağ asidi zinciri, zeytin yağının tekli doymamış yapısıyla birlikte daha dengeli bir arayüzey filmine katkı sağladığı düşünülür. Bu durum, damlacık dağılımının daha homojen kalmasına ve absorbands değerlerinin zamanla korunması ile sonuçlanmıştır.

Sakkaroz içeren KY–ZY sistemlerinde absorbands değerlerinin yüksek olmasına rağmen, 24 saat sonunda bazı numunelerde azalma gözlenmiştir. Sakkarozun sürekli faz viskozitesini artırması, emülgatör moleküllerinin arayüzeyde yeniden düzenlenmesini geciktirmiş olabilir. Ancak bu etki, KY+çörekotu yağı sistemlerine kıyasla daha sınırlı kalmıştır.

Zeytinyağının oleik asit ağırlıklı yapısı, kenevir çekirdeği yağına kıyasla daha az heterojen bir yağ fazı oluşturmuş. Bu durumda da, KY–ZY sistemlerinde absorbands değerlerinin KY–çörekotu yağı sistemlerine göre daha stabil seyretmesini açıklamaktadır. Toplam %10 yağ içeren kenevir çekirdeği yağı–zeytinyağı karışımı emülsiyonlarda absorbands değerleri, yüksek ve stabildir. Bu durum, zeytinyağının oleik asit ağırlıklı yapısının, emülsiyon

sisteminde daha dengeli bir arayüzey davranışı sergilediğini göstermektedir. PS20 içeren sistemlerin daha stabil absorpsiyon değerleri sunması, bu yağ kombinasyonunda PS20'nin daha uyumlu bir yardımcı yüzey aktif madde olduğu düşünülmektedir.

4.5. Emülsiyonların Kremalaşma İndeksi

Kremalaşma indeksi tayini gerçekleştirmek amacıyla 10 ml emülsiyon örneği alınarak dereceli cam test tüpüne doldurulup (1.5-cm iç çapx12-cm yükseklik) ve +4 °C' de 14 gün boyunca izlenmiş 1., 7. ve 14. gün analiz edilmiştir. Belirtilen süreler sonunda toplam serum yüksekliği (Hs) ve toplam emülsiyon yüksekliği (Ht) değerleri kaydedilerek aşağıdaki formül aracılığıyla kremalaşma indeksi değeri belirlenmiştir.

$$\text{Kremalaşma İndeksi (\%)} = (H_s/H_t) \times 100$$

Şekil 4.17.'de de görüleceği üzere 14 gün boyunca +4°C' de bekletilen emülsiyon örneklerinin dijital görüntüsünden herhangi bir kremalaşma olmadığı anlaşıldı.



Şekil 4.17. 14 günün sonunda emülsiyonların görünümü

4.6. Renk Değerleri

Çalışma sırasında hazırlanan numunelerin içerisine farklı oranlarda yağ (%5, %10 ve %15) eklenmesi ve hazırlık sürecinde yapılan işlemlerin numuneler üzerinde önemli bir renk değişimi meydana getirip getirmediğini öğrenmek için yapılan renk analiz (x-rite certified sevice partner) sonuçları tablo 4.7'de görülmektedir. Numunelerde kırmızı–yeşil veya sarı–mavi yönünde renk yoktur görülen renk süt beyazı/açık krem renginedir a* ve b* değerlerinin düşük olması, renk değişiminin pigmentasyondan değil, ışık saçılmasına bağlı olduğunu göstermektedir. Emülsiyonlardaki renk farkları, yağ miktarına bağlı olarak değişen damlacık boyutunun ışık saçılma davranışını etkilemesinden kaynaklanmaktadır.

Artan yağ miktarı ışığın emülsiyon içerisinde çoklu saçılmaya uğramasına neden olmuş ve sistemin daha yüksek açıklık (L^*) değerleri göstermesine yol açmıştır.

Genel olarak değerlendirildiğinde farklı yağ oranlarında hazırlanan emülsiyonların renk parametreleri incelendiğinde, L^* değerlerinde yağ fazı oranı ile birlikte artış gözlenmiştir. Bu a^* ve b^* değerlerinin düşük ve sınırlı aralıkta kalması, sistemde belirgin bir renklenmenin oluşmadığı gösteriyor. Yansıma spektrumlarında görünür bölgede spesifik bir absorpsiyon bandının bulunmaması, renk değişiminin kimyasal bir reaksiyondan ziyade emülsiyon damlacıklarının neden olduğu ışık saçılmasına bağlı olduğunu ortaya koymuş. Artan yağ miktarıyla birlikte damlacık yoğunluğu ve boyutunun artması, Mie saçılmasını artırarak emülsiyonların daha opak ve açık renkli görünmesine neden olduğu düşünülmektedir.

Tablo 4.7. %5, %10 ve %15 kenevir yağlı emülsiyonların renk analizi

Standart Adı	L^*	a^*	b^*	C^*	h^*
Numune Adı	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔC^*	ΔH^*
FK5-5	19.90	-4.58	10.46	-1.80	-11.28
	Daha açık	Daha Yeşil	Daha Sarı	Daha Mat	Daha yeşil
FK10-2	20.03	-4.06	13.34	0.41	-13.93
	Daha açık	Daha Yeşil	Daha Sarı	Daha Parlak	Daha yeşil
FK15-2	21.57	-2.68	11.18	-2.08	-11.30
	Daha açık	Daha Yeşil	Daha Sarı	Daha Mat	Daha yeşil
FK15-4	20.30	-3.53	12.96	-0.13	-13.43
	Daha açık	Daha Yeşil	Daha Sarı	Daha Mat	Daha yeşil
FK5-2	17.52	-4.61	8.28	-3.16	-8.93
	Daha açık	Daha Yeşil	Daha Sarı	Daha Mat	Daha yeşil
FK15-6	21.42	-3.71	14.49	1.39	-14.89
	Daha açık	Daha Yeşil	Daha Sarı	Daha Parlak	Daha yeşil

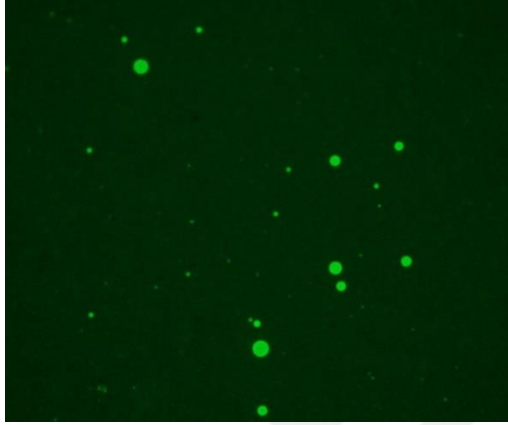
Tablo 4.7. (devamı) %5, %10 ve %15 kenevir yağlı emülsiyonların renk analizi

Standart Adı	L*	a*	b*	C*	h*
Numune Adı	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔC^*	ΔH^*
FK5-1	19.59	-4.03	7.13	-4.07	-7.11
	Daha açık	Daha Yeşil	Daha Sarı	Daha Mat	Daha yeşil
FK5-3	20.90	-3.88	7.10	-4.22	-6.90
	Daha açık	Daha Yeşil	Daha Sarı	Daha Mat	Daha yeşil
FK10-5	20.65	-4.41	14.52	1.64	-15.08
	Daha açık	Daha Yeşil	Daha Sarı	Daha Parlak	Daha yeşil
FK5-4	19.15	-3.90	8.20	-3.82	-8.23
	Daha açık	Daha Yeşil	Daha Sarı	Daha Mat	Daha yeşil
FK10-6	24.04	-2.75	9.79	-3.37	-9.59
	Daha açık	Daha Yeşil	Daha Sarı	Daha Mat	Daha yeşil
FK15-5	21.34	-4.08	15.07	2.05	-15.48
	Daha açık	Daha Yeşil	Daha Sarı	Daha Parlak	Daha yeşil
FK10-1	21.61	-3.24	11.41	-1.68	-11.74
	Daha açık	Daha Yeşil	Daha Sarı	Daha Mat	Daha yeşil
FK10-4	20.46	-3.87	12.77	-0.18	-13.34
	Daha açık	Daha Yeşil	Daha Sarı	Daha Mat	Daha yeşil
FK15-1	20.65	-2.66	12.45	-0.86	-12.70
	Daha açık	Daha Yeşil	Daha Sarı	Daha Mat	Daha yeşil
FK15-3	18.91	-4.72	14.49	1.74	-15.14
	Daha açık	Daha Yeşil	Daha Sarı	Daha Mat	Daha yeşil
FK5-6	19.18	-5.50	12.25	0.17	-13.43
	Daha açık	Daha Yeşil	Daha Sarı	Daha Parlak	Daha yeşil
FK10-3	20.89	-3.35	10.13	-2.79	-10.29
	Daha açık	Daha Yeşil	Daha Sarı	Daha Mat	Daha yeşil

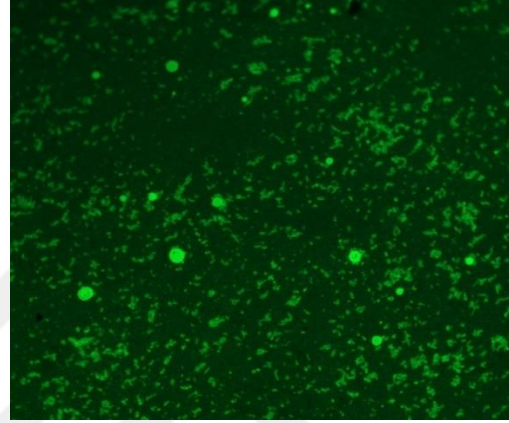
4.7. Mikroskop Görüntüleri

Hazırlanan örnek numuneler (FK7 ve KY-ZY3) nil kırmızısı kullanılarak büyütürken florasan mikroskopta alınan görüntüler Şekil 4.18’de ışık mikroskobuyla alınan görüntüler Şekil 4.19’da görülmektedir. Görüntülerde %10 kenevir yağı içeren emülsiyonda daha belirgin, küresel ve farklı boyutlarda yağ damlacıkları gözlenirken; %5 kenevir yağı + %5 zeytinyağı içeren sistemde daha küçük, daha homojen dağılmış ve arka planda yaygın floresans sinyali

veren bir morfoloji ortaya çıkmıştır. Karışık yağ fazının kullanılması, yağ su arayüzey özelliklerini değiştirerek Span 80 ve Polisorbat 20'nin arayüzey kaplama etkinliğini artırmış, bu durum damlacık boyutunun küçülmesine sebep olmuş. Bununla birlikte, tek yağlı sistemde daha büyük damlacıkların varlığı, lokal koalesans eğiliminin daha belirgin olduğunu göstermiştir. Genel olarak karışık yağ fazı içeren emülsiyonun, mikroyapı açısından daha homojen ve görece daha stabil bir yağ/su emülsiyon karakteri sergilediği söylenebilir.



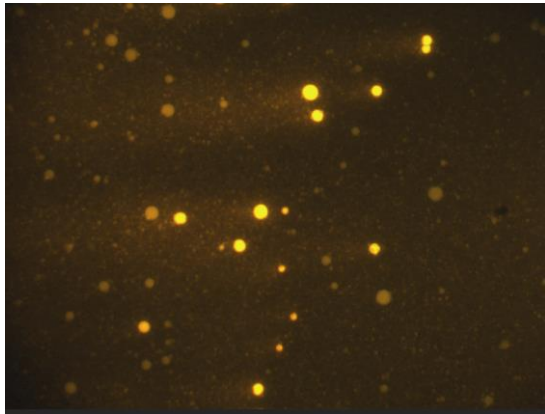
(FK7)



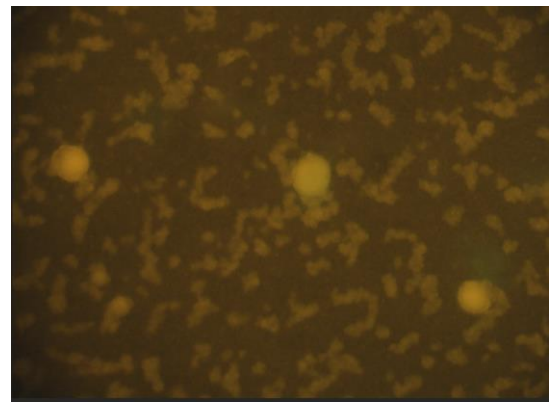
(KY-ZY3)

Şekil 4.18. Örnek emülsiyonların floresan mikroskop görüntüleri

Işık mikroskobu görüntülerinde nil kırmızısının lipofilik yapısı nedeniyle yağ fazına ait damlacıkların belirgin şekilde boyandığı net biçimde görülüyor. Yağ damlacıklarının küresel morfolojiye sahip olması, emülsiyon oluşumunun başarılı olduğunu gösteriyor. Span 80 ve Polisorbat 20'nin birlikte kullanımı arayüzey gerilimini düşürerek sistemi stabilize etmiş.



(FK7)



(KY-ZY3)

Şekil 4.19. Örnek emülsiyonların ışık mikroskobu görüntüleri

5. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada kenevir çekirdeği yağı kullanılarak hazırlanan su bazlı emülsiyon sistemlerinde, yağ oranı (%5, %10 ve %15), emülgatörlerin kimyasal yapısı ve formülasyondaki bileşen kombinasyonlarının, emülsiyonların yüzey yükü ve damlacık boyutu üzerinde belirleyici olduğu açıkça görülmüştür.

Yağ oranının %5'ten %10'a çıkarılmasıyla birlikte, tüm emülsiyon sistemlerinde zeta potansiyelinin mutlak değerinde belirgin bir artış gözlenmiştir. %5 KY içeren emülsiyonlarda zeta potansiyeli $-21,3$ mV ile $-40,4$ mV aralığında değişirken, %10 KY içeren sistemlerde bu değer $-35,1$ mV ile $-49,6$ mV aralığına yükselmiştir. Bu durum, artan yağ miktarının damlacık yüzeyinde daha yoğun bir arayüzey oluşmasına ve emülgatörlerin bu yüzeye daha etkin adsorbe olmasına sebep olduğu düşünülmektedir.

Buna karşılık, yağ oranının artması toplam arayüzey alanını da artırdığından, emülgatör miktarının sabit tutulduğu sistemlerde damlacık boyutlarının genel olarak büyüdüğü görülmüştür. %5 KY emülsiyonlarında $164\text{--}210$ nm aralığında olan parçacık boyutları, %10 KY sistemlerinde $230\text{--}510$ nm aralığına yükselmiştir. %15 KY içeren emülsiyonlarda ise damlacık boyutlarının çoğunlukla $280\text{--}430$ nm aralığında seyrettiği belirlenmiştir.

Emülgatör Kimyasal Yapısının Etkisi span 80–polisorbat (PS20 ve PS80) kombinasyonları kullanılan emülsiyonlarda, özellikle sakkaroz içeren sistemlerde yüksek mutlak zeta potansiyeli değerleri elde edilmiştir. Polisorbatların uzun polioksietilen zincirleri, damlacık yüzeyinde kalın bir hidrasyon tabakası oluşturarak elektrostatik yüklerin ölçümde daha belirgin hale gelmesine katkı sağlamıştır. Bu etki, %10 ve %15 KY içeren Span80–PS sistemlerinde -45 mV'un üzerindeki zeta potansiyeli değerleriyle doğrulanmaktadır.

Monodiglicerid (MDG) içeren emülsiyonlarda ise daha farklı bir davranış gözlenmiştir. MDG'nin düşük HLB değerine ve sınırlı hidrofilik baş grubuna sahip olması, damlacık yüzeyinde daha sıkı fakat daha ince bir adsorpsiyon tabakası oluşmasına neden olmuştur. Bu durum, bazı MDG içeren numunelerde daha küçük damlacık boyutlarının elde edilmesini sağlamış (örneğin %5 KY–MDG–PS20 sisteminde 164 nm), ancak zeta potansiyelinin görece daha düşük kalmasına yol açmıştır.

AYL içeren emülsiyonlar ise genellikle orta–yüksek zeta potansiyeli ve orta seviyede damlacık boyutları sergilemiştir. Fosfolipit yapıya sahip AYL'nin amfifilik karakteri, elektrostatik ve sterik stabilizasyon mekanizmalarının birlikte etkili olduğu bir stabilizasyon davranışına işaret etmektedir.

Sakkarozun rolü ise sakkaroz içeren sistemlerde, düşük molekül ağırlıklı yardımcı bileşenlerin sürekli fazın viskozitesini artırarak ve damlacık yüzeyindeki hidrasyon dengesini değiştirerek emülgatör adsorpsiyonunu dolaylı olarak etkilediği görülmüştür. Sakkaroz içermeyen bazı numunelerde daha yüksek mutlak zeta potansiyeli değerlerinin elde edilmesi, bu bileşenin emülgatör–arayüzey etkileşimlerini kısmen sınırlandırabildiğini düşündürmektedir.

Genel olarak tüm sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, kenevir çekirdeği yağı emülsiyonlarında stabilitenin yalnızca zeta potansiyeline bağlı olmadığı, damlacık boyutu, emülgatörün moleküler yapısı ve sterik bariyer oluşturma kapasitesi ile birlikte değerlendirilmesi gerektiği ortaya konmuştur. Düşük yağ oranlarında MDG içeren sistemler daha küçük damlacık boyutları sağlarken, yüksek yağ oranlarında Span 80–polisorbat kombinasyonları daha yüksek elektrostatik stabilite sunmuştur. Bu bulgular, farklı uygulama alanlarına yönelik emülsiyon formülasyonlarının, yağ oranı ve emülgatör tipi birlikte optimize edilerek tasarlanması gerektiği ile sonuçlanmıştır.

Emülsiyon aktivitesi sonuçları tekli kenevir yağı ve ikili kenevir yağı–çörek otu yağı / kenevir yağı–zeytinyağı emülsiyonlarının emülsifikasyon aktivite indeksleri (EAI), emülgatör tipi ve yağ fazı kompozisyonuna bağlı olarak anlamlı farklılıklar göstermiştir. Span 80–polisorbat içeren sistemler, MDG bazlı sistemlere kıyasla daha yüksek EAI değerleri sergileyerek yağ–su arayüzeyinde daha etkin emülgatör adsorpsiyonu sağladığını ortaya koymuştur. İkili yağ sistemlerinde kenevir yağı–zeytinyağı kombinasyonları, kenevir yağı–çörek otu yağına kıyasla daha yüksek ve daha kararlı EAI değerleri göstermiştir. Ayrıca 24 saat sonunda EAI değerlerinin büyük ölçüde korunması veya artması, emülsiyonların kısa süreli kinetik stabilitesinin sağlandığı belirlenmiştir.

Renk analiz sonuçları farklı kenevir yağı oranlarına (%5, %10 ve %15) sahip emülsiyonların renk analizleri, tüm numunelerin standart su örneğine kıyasla daha açık (L^*) ve daha yeşil–sarı tonlara kaymış (a^* , b^*) olduğunu gösteriyor. Kenevir yağı oranının artmasıyla birlikte sarılık (b^*) ve renk doygunluğu (C^*) değerlerinde genel olarak artış gözlenmiş, bu durum yağ fazının doğal pigment içeriğinin renk oluşumunda etkili olduğunu ortaya koymuştur. Bazı formülasyonlarda parlaklık artışı (C^*) görülürken, çoğu numunede daha mat bir görünüm elde edilmiştir. Tüm numunelerin ΔE değerlerinin uygun aralıkta yer alması, renk değişimlerinin kabul edilebilir sınırlar içinde olduğunu ve emülsiyonların görsel açıdan homojen bir yapı sergilediğini gösteriyor. Elde edilen sonuçlar, kenevir yağı oranının

emülsiyonların renk karakteristiğini belirgin şekilde etkilediğini ancak formülasyonların genel renk stabilitesini koruduğunu ortaya koymuştur.



6. KAYNAKLAR

- Amiri-Rigi, A., Pillai, S. K., & Emmambux, M. N. (2023). Development of hemp seed oil nanoemulsions loaded with ascorbyl palmitate: Effect of operational parameters, emulsifiers, and wall materials. *Food Chemistry*, 400, 134052. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134052>
- Anicescu, M. C., Dinu-Pîrvu, C. E., Ghica, M. V., Anuta, V., Prisada, R. M., Talianu, M. T., & Popa. (2020, October). Preliminary analysis of emulsion-based formulations containing pumpkin seed oil and hemp seed oil for internal use. In *Proceedings of the 8th International Conference of Advanced Materials and Systems; Certex Publishing: Bucharest, Romania* (pp. 115-120). <https://doi.org/10.24264/icams-2020.II.1>
- Anton, N., & Vandamme, T. F. (2011). Nano-emulsions and micro-emulsions: clarifications of the critical differences. *Pharmaceutical Research*, 28(5), 978-985.
- Armutcu, F., Namuslu, M., Yüksel, R., & Kaya, M. (2013). Zeytinyağı ve sağlık: Biyoaktif bileşenleri, antioksidan özellikleri ve klinik etkileri. *Konuralp Medical Journal*, 5(1), 60-68.
- Aslan, D. (2015). *Ultrason tekniği ile farklı fonksiyonel yağlar kullanılarak yeni süt bazlı emülsiyonların geliştirilmesi*, [Yüksek Lisans Tezi] Erciyes Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Aslan, D. , & Dogan, M. (2018). The influence of ultrasound on the stability of dairy-based, emulsifier-free emulsions: rheological and morphological aspect. *European Food Research and Technology*, 244(3), 409-421.
- Baboota, S., Shakeel, F., Ahuja, A., Ali, J., & Shafiq, S. (2007). Design, development and evaluation of novel nanoemulsion formulations for transdermal potential of celecoxib. *Acta Pharmaceutica*, 57(3), 315.
- Baldino, N., Carnevale, I., Miletì, O., Aiello, D., Lupi, F. R., Napoli, A., & Gabriele, D. (2022). Hemp seed oil extraction and stable emulsion formulation with hemp protein isolates. *Applied Sciences*, 12(23), 11921. <https://doi.org/10.3390/app122311921>
- Balo, F., Kurtbaş, İ., & Yücel, H. L. (2006). Bitkisel yağların dizel yakıt özellikleri. *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, 5(1), 1-6.

- Bhosale, R. R., Osmani, R. A., Ghodake, P. P., Shaikh, S. M., & Chavan, S. R. (2014). Nanoemulsion: A review on novel profusion in advanced drug delivery. *Indian Journal of Pharmaceutical and Biological Research*, 2(1), 122.
- Bulca, S. (2014). Çörek otunun bileşenleri ve bu yağın ve diğer bazı uçucu yağların antioksidan olarak gıda teknolojisinde kullanımı. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11(2), 29-36.
- Chawla, R., & Fang, Z. (2024). Kenevir makromolekülleri: Gıda ve ambalaj inovasyonu için sürdürülebilir çözümler üretmek. *Uluslararası Biyolojik Makromoleküller Dergisi*, 273, 132823. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132823>
- Cheong, A. M., & Nyam, K. L. (2016). Improvement of physical stability of kenaf seed oil-in-water nanoemulsions by addition of β -cyclodextrin to primary emulsion containing sodium caseinate and Tween 20. *Journal of Food Engineering*, 183, 24-31. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.03.012>
- Crini, G., Lichtfouse, E., Chanut, G., & Morin-Crini, N. (2020). Applications of hemp in textiles, paper industry, insulation and building materials, horticulture, animal nutrition, food and beverages, nutraceuticals, cosmetics and hygiene, medicine, agrochemistry, energy production and environment: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 18(5), 1451-1476.
- Çomoğlu, T., & Gönül, N. (1997). Microemulsions. *Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara University*, 26(2), 95-108.
- Danielsson, I., Friman, R., & Sjöblom, J. (1982). Equilibria and structures of microemulsions and liquid crystals in water-surfactant-oil systems. *Journal of Colloid and Interface Science*, 85(2), 442-451. [https://doi.org/10.1016/0021-9797\(82\)90010-8](https://doi.org/10.1016/0021-9797(82)90010-8)
- Dickinson, E. (1989). Food colloids—An overview. *Colloids and Surfaces*, 42(1), 191-204. [https://doi.org/10.1016/0166-6622\(89\)80086-1](https://doi.org/10.1016/0166-6622(89)80086-1)
- Fike, J. (2016). Endüstriyel kenevir: kadim bir ürün için yenilenen fırsatlar. *Bitki Bilimlerinde Kritik İncelemeler*, 35 (5-6), 406-424. <https://doi.org/10.1080/07352689.2016.1257842>
- Ghelichi, S., Hajfathalian, M., Yesiltas, B., Sørensen, A. D. M., García-Moreno, P. J., & Jacobsen, C. (2023). Oxidation and oxidative stability in emulsions. *Comprehensive*

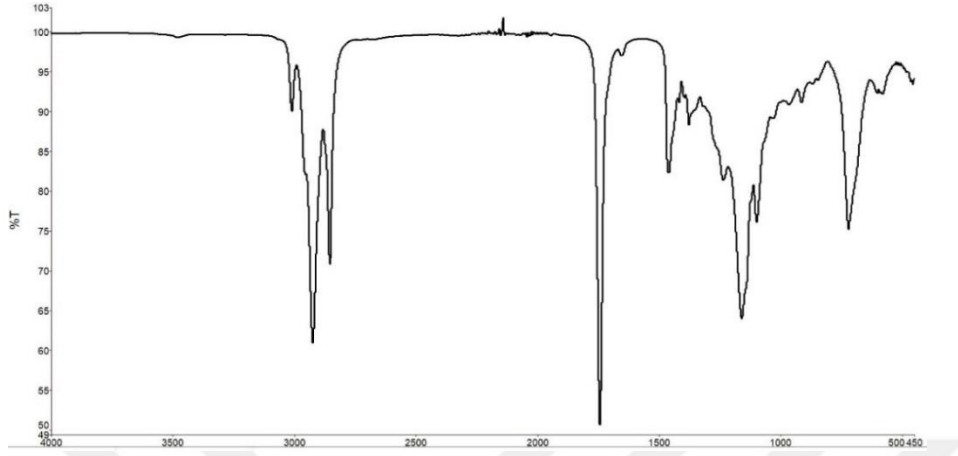
- Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(3), 1864-1901.
<https://doi.org/10.1111/1541-4337.13134>
- Göre, M., & Kurt, O. (2020). Bitkisel üretimde yeni bir trend: Kenevir. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 4(1), 138-157.
<https://doi.org/10.38001/ijlsb.789970>
- Gutiérrez, J. M., González, C., Maestro, A., Solè, I. M. P. C., Pey, C. M., & Nolla, J. (2008). Nano-emulsions: New applications and optimization of their preparation. *Current Opinion in Colloid & Interface science*, 13(4), 245-251.
- Hou, F., Yang, S., Ma, X., Gong, Z., Wang, Y., & Wang, W. (2022). Characterization of Physicochemical Properties of Oil-in-Water Emulsions Stabilized by *Tremella Fuciformis* Polysaccharides. *Foods*, 11(19), 3020.
<https://doi.org/10.3390/foods11193020>
<https://doi.org/10.1016/j.cocis.2008.01.005>
- Jarzębski, M., Smulek, W., Siejak, P., Rezler, R., Pawlicz, J., Trzeciak, T., ... & Fathordoobady, F. (2021). Aesculus hippocastanum L. as a stabilizer in hemp seed oil nanoemulsions for potential biomedical and food applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(2), 887. <https://doi.org/10.3390/ijms22020887>
- Karasulu H. Y. (2008). Microemulsions as novel drug carriers: the formation, stability, applications and toxicity. *Expert opinion on drug delivery*, 5(1), 119–135.
<https://doi.org/10.1517/17425247.5.1.119>
- Kirkhus, B., Lamglait, A., Storrø, I., Vogt, G., Olsen, E., Lundby, F., & Standal, H. (2015). The role of water in protection against thermal deterioration of liquid margarine. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 92(2), 215-223.
- Kitamura, M., Kiba, Y., Suzuki, R., Tomida, N., Uwaya, A., Isami, F., & Deng, S. (2020). Cannabidiol Content and In Vitro Biological Activities of Commercial Cannabidiol Oils and Hemp Seed Oils. *Medicines (Basel, Switzerland)*, 7(9), 57.
<https://doi.org/10.3390/medicines7090057>
- Li, N., Wang, T., Yang, X., Qu, J., Wang, N., Wang, L., ... & Han, C. (2022). Effect of high-intensity ultrasonic treatment on the emulsion of hemp seed oil stabilized with hemp seed protein. *Ultrasonics Sonochemistry*, 86, 106021.
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106021>

- Mahajan, H. S., Mahajan, M. S., Nerkar, P. P., & Agrawal, A. (2014). Nanoemulsion-based intranasal drug delivery system of saquinavir mesylate for brain targeting. *Drug Delivery*, 21(2), 148-154. <https://doi.org/10.3109/10717544.2013.838014>
- Martins, G. S., Candido, R. G., Guimaraes, D. H., Triboni, E. R., Rodrigues, C. E., & Batista, F. R. (2024). Hemp seed oil: extraction conditions, characterization and density and viscosity temperature profile. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 41(4), 1061-1074.
- McClements, D. J. (2012). Nanoemulsions versus microemulsions: terminology, differences, and similarities. *Soft Matter*, 8(6), 1719-1729. <https://doi.org/10.1039/C2SM06903B>
- McClements, DJ ve Gumus, CE (2016). Doğal emülsiyonlaştırıcılar—Biyosüpfaktanlar, fosfolipidler, biyopolimerler ve koloidal parçacıklar: Fonksiyonel performansın moleküler ve fiziko-kimyasal temeli. *Kolloid ve Arayüz Biliminde İlerlemeler* , 234 , 3-26. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2016.03.002>
- Mikulcová, V., Kašpárková, V., Humpolíček, P. ve Buňková, L. (2017). Kenevir tohumu yağı ve emülsiyonlarının formülasyonu, karakterizasyonu ve özellikleri. *Moleküller* , 22 (5), 700. <https://doi.org/10.3390/molecules22050700>
- Muschiolik, G., & Dickinson, E. (2017). Gıda sistemleriyle ilgili çift emülsiyonlar: hazırlama, stabilite ve uygulamalar. *Kapsamlı Gıda Bilimi ve Gıda Güvenliği İncelemeleri* , 16 (3), 532-555. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12261>
- Muzaffar, F. A. I. Z. I., Singh, U. K., & Chauhan, L. (2013). Review on microemulsion as futuristic drug delivery. *Int J Pharm Pharm Sci*, 5(3), 39-53.
- Özhamamci, İ. (2019). *Farklı form ve çeşit emülgatörlerin keklerin bazı kalite kriterleri üzerine etkisi*[Basılmamış Doktora Tezi] Atatürk Üniversitesi.
- Özyılmaz, E. D., Sayiner, Ö., & Çomoğlu, T. (2020). Mikro ve Nanoemülsiyonların Farmasötik Yönden Değerlendirilmesi. *Journal of Literature Pharmacy Sciences*, 9(1), 65-76.
- Pongsumpun, P., Iwamoto, S., & Siripatrawan, U. (2020). Response surface methodology for optimization of cinnamon essential oil nanoemulsion with improved stability and antifungal activity. *Ultrasonics Sonochemistry*, 60, 104604. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.05.021>

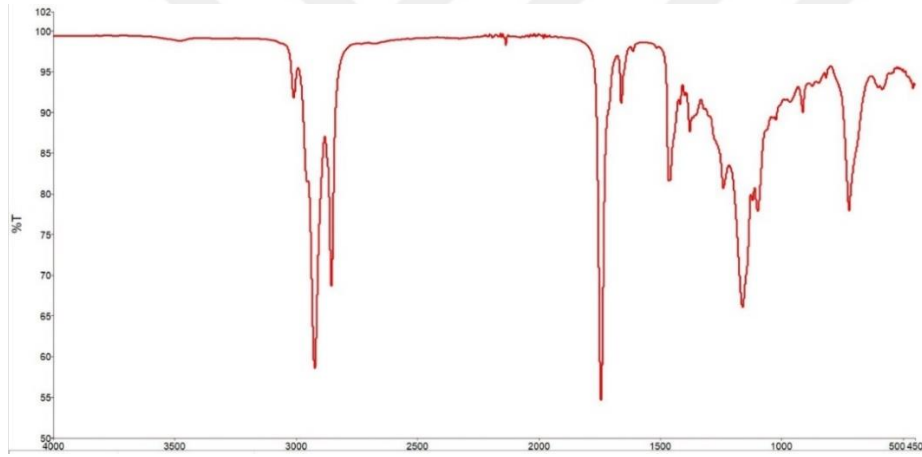
- Rao, J., & McClements, D. J. (2011). Formation of flavor oil microemulsions, nanoemulsions and emulsions: influence of composition and preparation method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(9), 5026-5035.
- Shah, S., & Ray, K. S. (2003). Study on antioxidant and antimicrobial properties of black cumin (*Nigella sativa* Linn). *Journal of Food Science and Technology (Mysore)*, 40(1), 70-73.
- Smulek, W., & Jarzëbski, M. (2023). Sapindus saponinleri ile kenevir tohumu yağı nanoemülsiyonu, demir takviyesi ve D vitamini için potansiyel bir taşıyıcı olarak. *İleri Malzeme Bilimi Üzerine İncelemeler*, 62 (1), 20220317. <https://doi.org/10.1515/rams-2022-0317>
- Solans, C., & Solé, I. (2012). Nano-emulsions: Formation by low-energy methods. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 17(5), 246-254. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2012.07.003>
- Şeker, M., & Esen, Ö. (2021). Kenevir tohumu yağının cilt ve sabun performansı üzerindeki etkisi. *Uluslararası Yaşam Bilimleri ve Biyoteknoloji Dergisi*, 4 (3), 420-438. <https://doi.org/10.38001/ijlsb.931795>
- Tadros, T., Izquierdo, P., Esquena, J., & Solans, C. (2004). Formation and stability of nano-emulsions. *Advances in Colloid and Interface Science*, 108, 303-318. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2003.10.023>
- Xue, J., Davidson, P. M., & Zhong, Q. (2015). Antimicrobial activity of thyme oil co-nanoemulsified with sodium caseinate and lecithin. *International journal of Food Microbiology*, 210, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.06.003>
- Yenilmez, E. (2007). *E Vitamini'nin Farklı Topik Formülasyon Sistemlerinden Salımı ve In Vitro-in Vivo Değerlendirilmesi* [Doktora Tezi] Farmasötik Teknoloji Anabilim Dalı Eskişehir Anadolu Üniversitesi.
- Yüncü, M., Şahin, M., Bayat, N., & Sarı, İ. (2013). Çörek otu yağının sıçan karaciğer şigelimine etkisi. *Gaziantep Medical Journal*, 19(3), 180-184.

EKLER

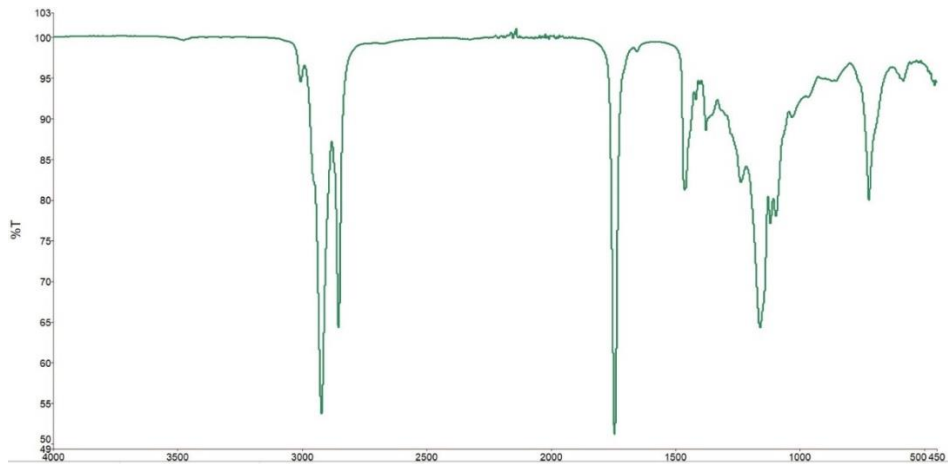
Ek-1 Tez çalışmasında kullanılan kenevir yağı, çörekotu yağı ve zeytinyağı FT-IR spektumu



Kenevir yağı FT-IR spektumu

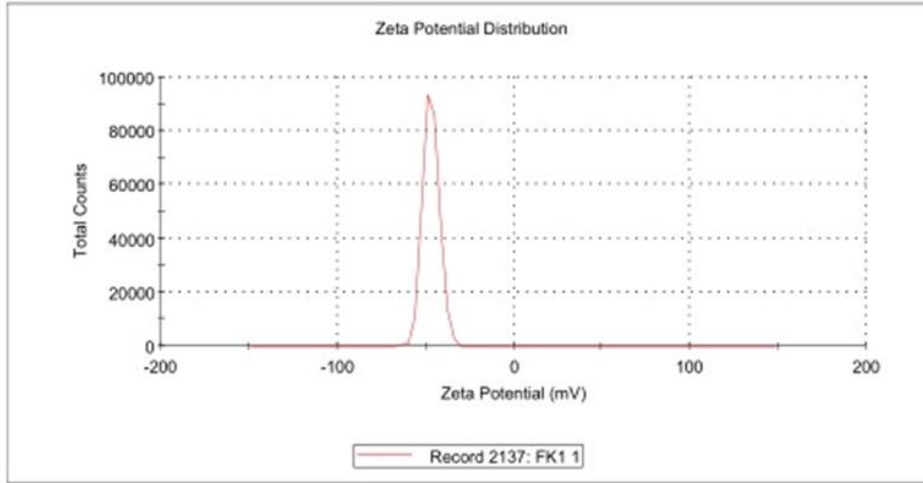


Çörekotu yağı FT-IR spektumu

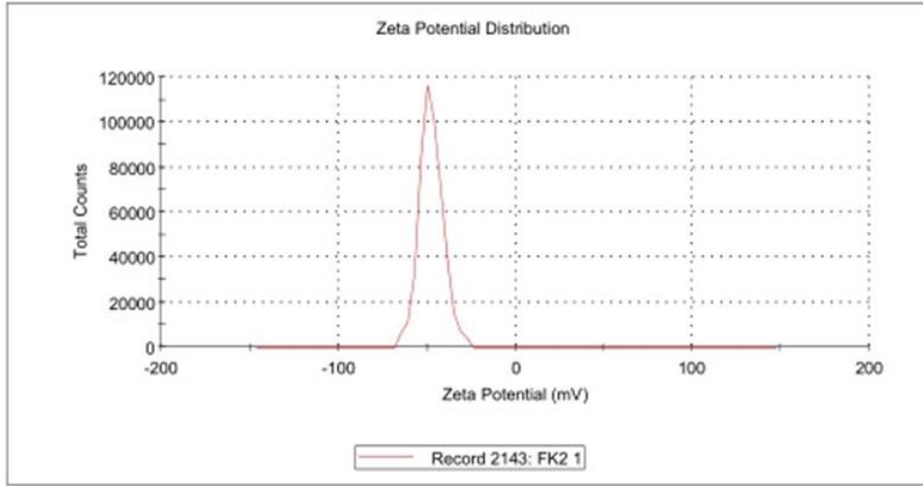


Zeytinyağı FT-IR spektumu

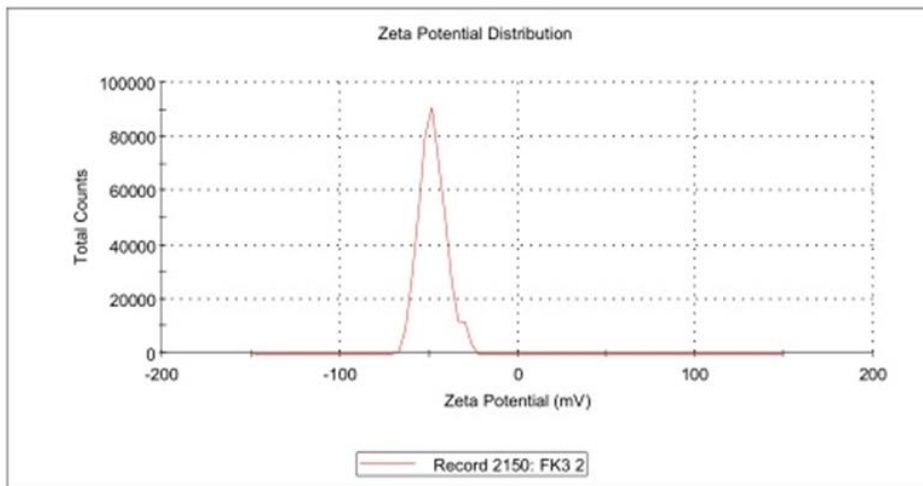
Ek-2 Tez çalışması sırasında hazırlanan numunelerin zeta potansiyeli grafikleri



%10'luk kenevir yağı ile hazırlanan FK1 emülsiyona ait zeta potansiyeli grafiği

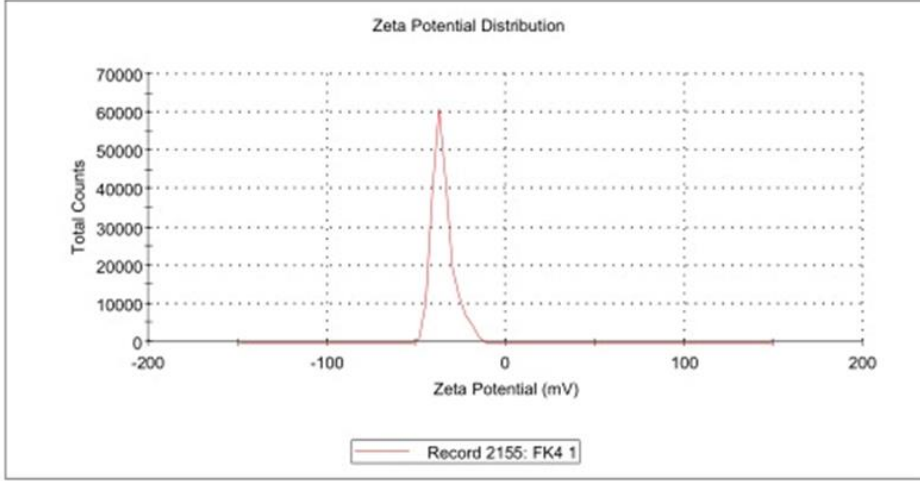


%10'luk kenevir yağı ile hazırlanan FK2 emülsiyona ait zeta potansiyeli grafiği

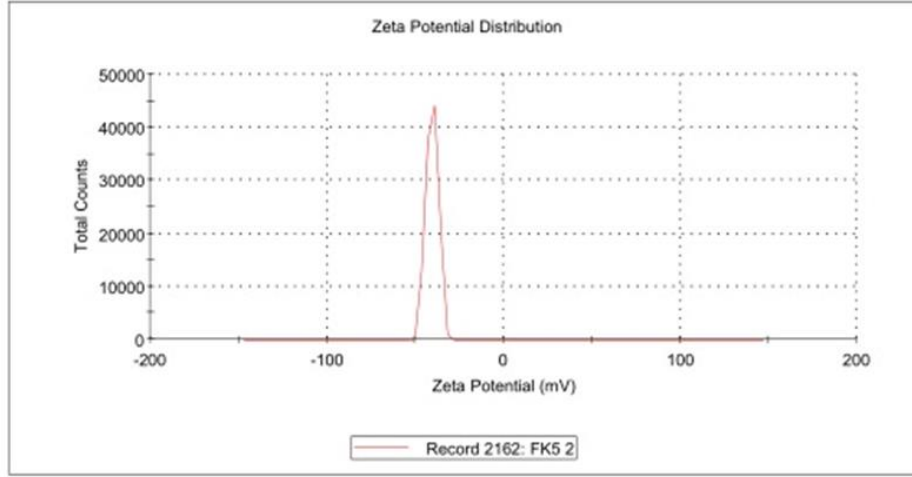


%10'luk kenevir yağı ile hazırlanan FK3 emülsiyona ait zeta potansiyeli grafiğ

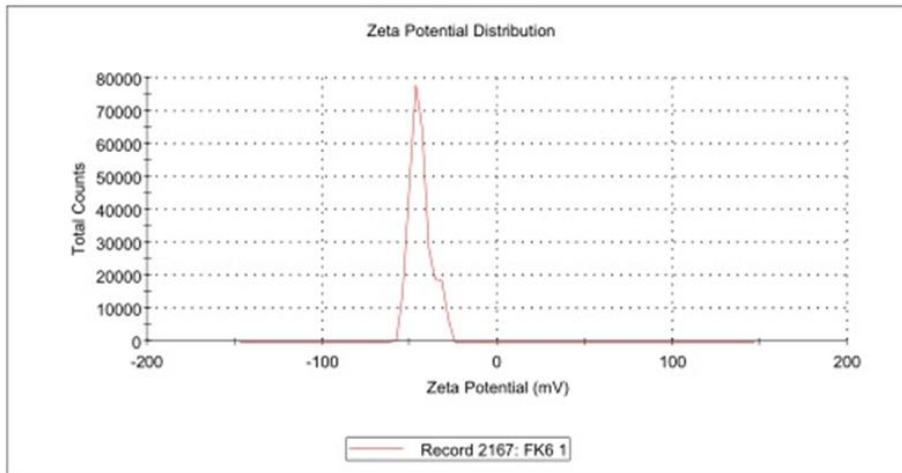
Ek-2 (devamı) Tez çalışması sırasında hazırlanan numunelerin zeta potansiyeli grafikleri



%10'luk kenevir yağı ile hazırlanan FK4 emülsiyona ait zeta potansiyeli grafiği

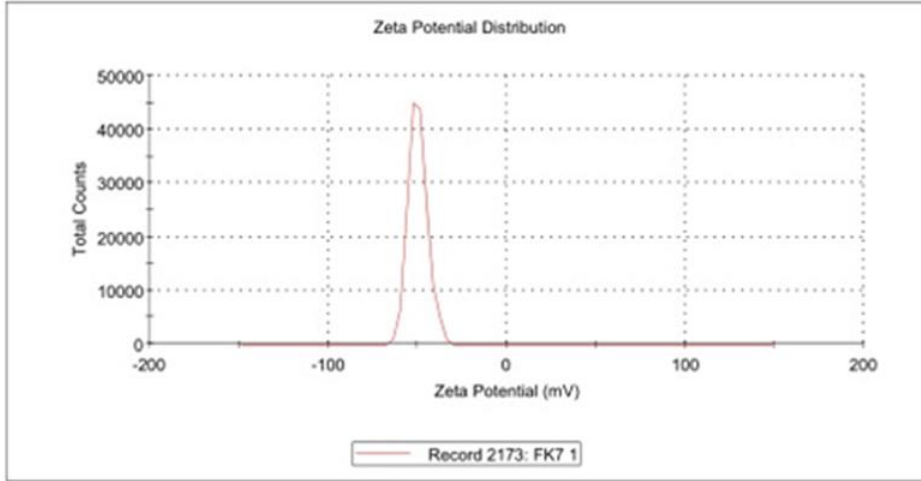


%10'luk kenevir yağı ile hazırlanan FK5 emülsiyona ait zeta potansiyeli grafiği

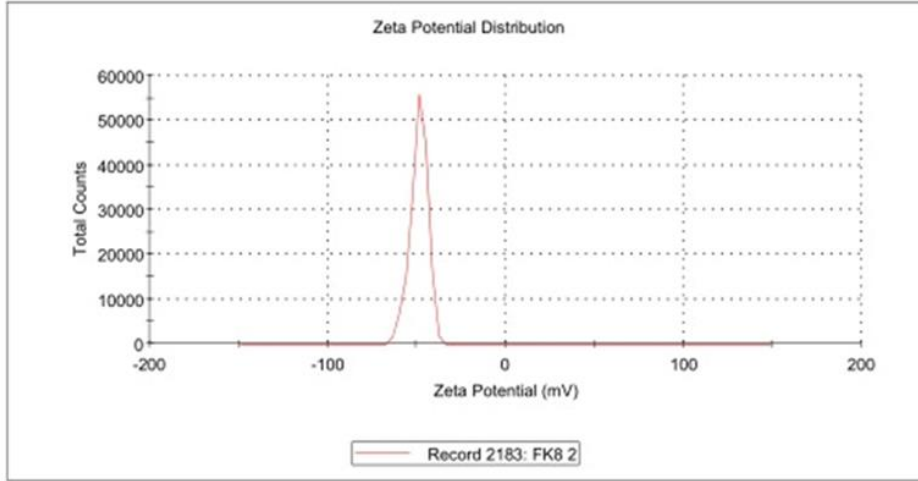


%10'luk kenevir yağı ile hazırlanan FK6 emülsiyona ait zeta potansiyeli grafiği

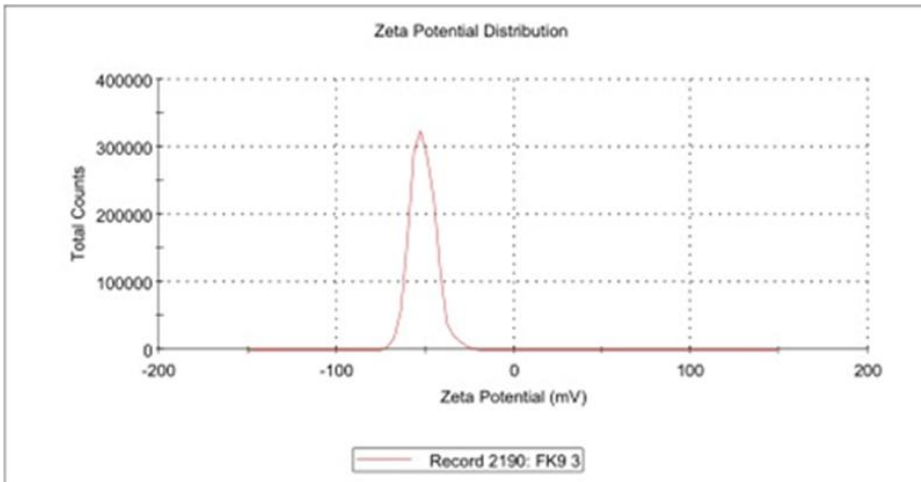
Ek-2 (devamı) Tez çalışması sırasında hazırlanan numunelerin zeta potansiyeli grafikleri



%10'luk kenevir yağı ile hazırlanan FK7 emülsiyona ait zeta potansiyeli grafiği

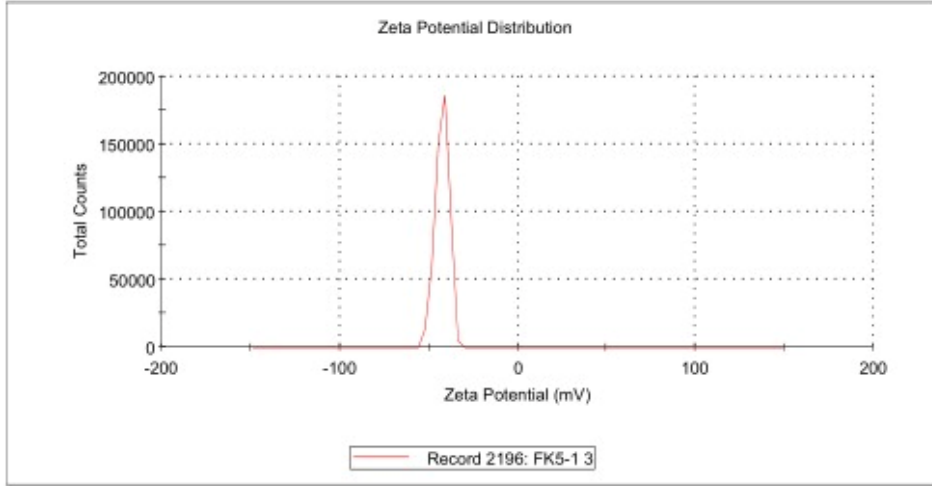


%10'luk kenevir yağı ile hazırlanan FK8 emülsiyona ait zeta potansiyeli grafiği

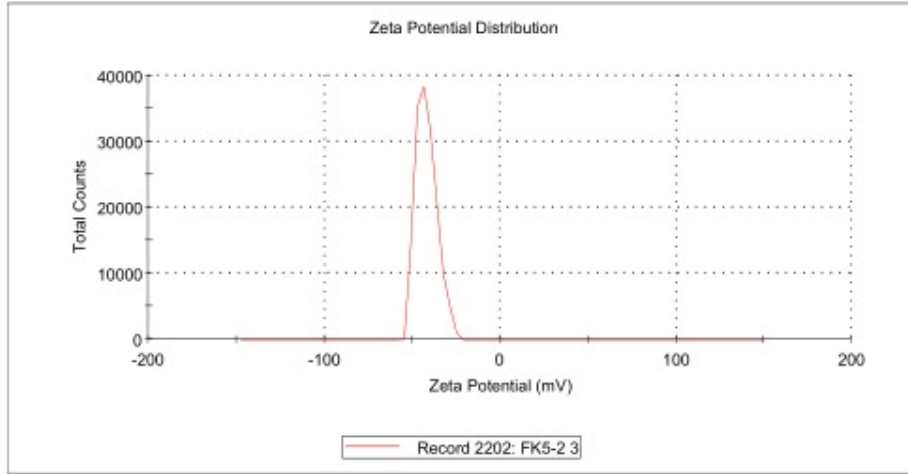


%10'luk kenevir yağı ile hazırlanan FK9 emülsiyona ait zeta potansiyeli grafiği

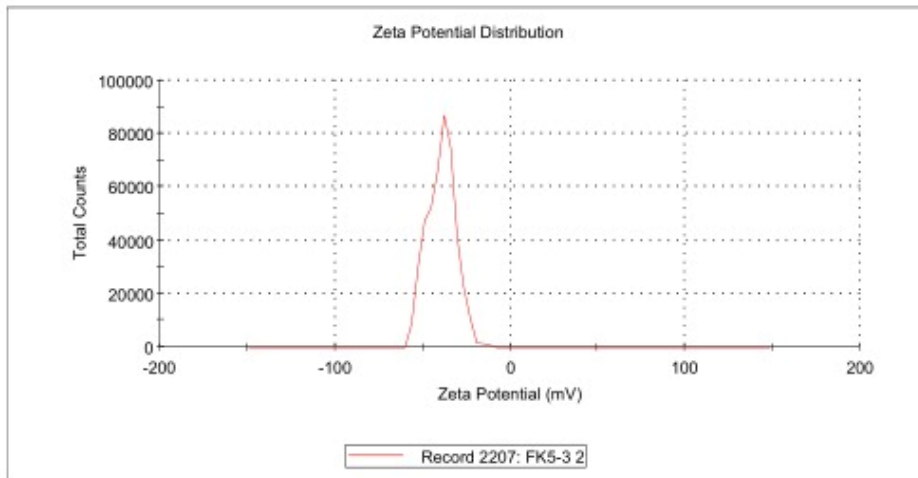
Ek-2 (devamı) Tez çalışması sırasında hazırlanan numunelerin zeta potansiyeli grafikleri



%15'lik kenevir yağı ile hazırlanan FK5-1 emülsiyona ait zeta potansiyeli grafiği

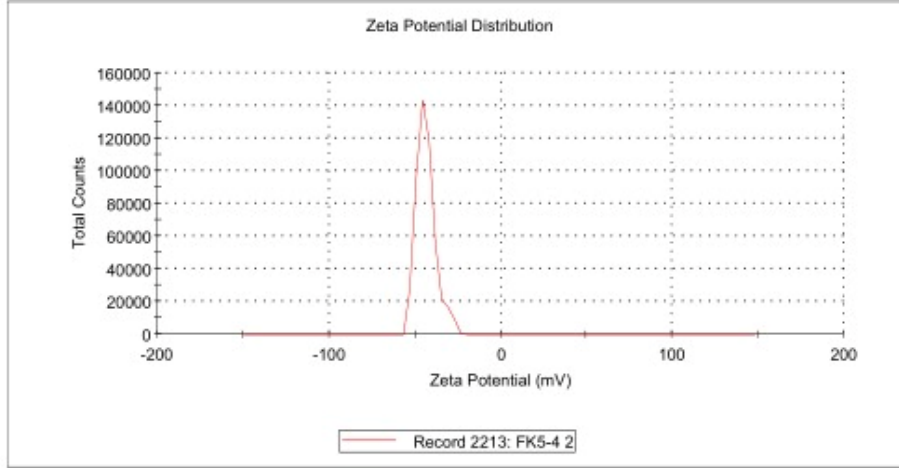


%15'lik kenevir yağı ile hazırlanan FK5-2 emülsiyona ait zeta potansiyeli grafiği

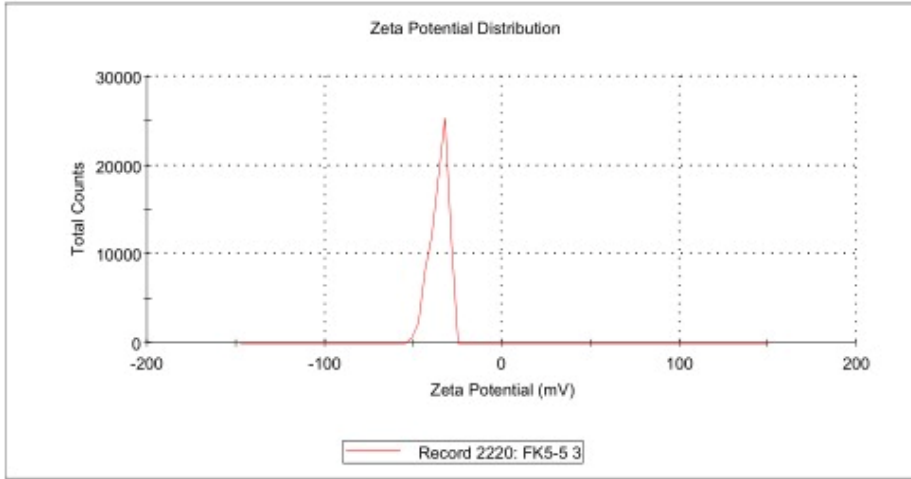


%15'lik kenevir yağı ile hazırlanan FK5-3 emülsiyona ait zeta potansiyeli grafiği

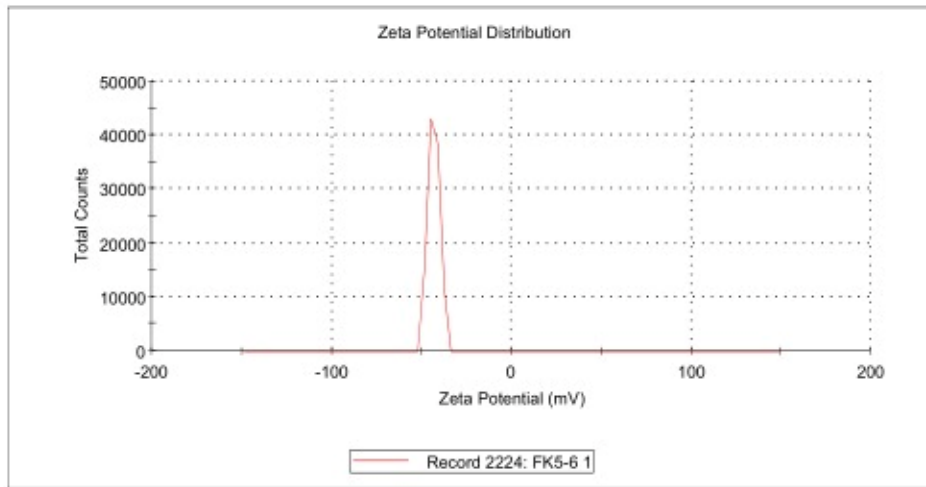
Ek-2 (devamı) Tez çalışması sırasında hazırlanan numunelerin zeta potansiyeli grafikleri



%15'lik kenevir yağı ile hazırlanan FK5-4 emülsiyona ait zeta potansiyeli grafiği

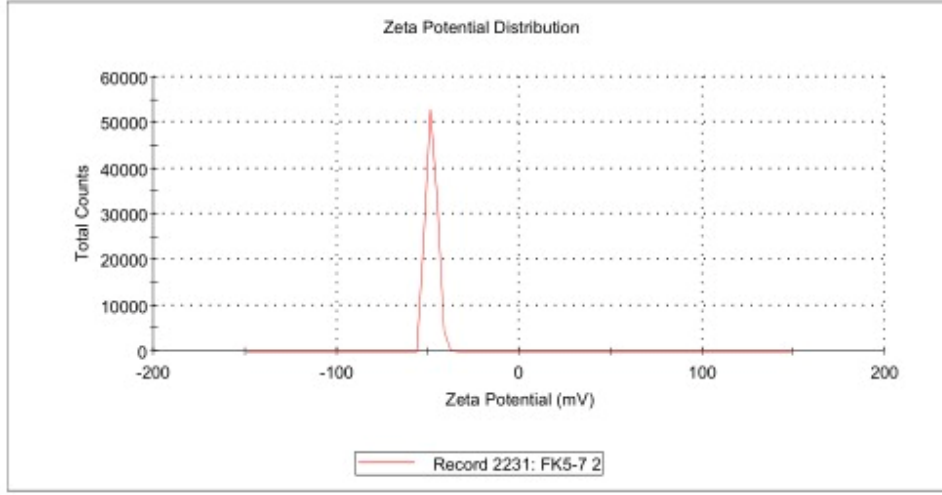


%15'lik kenevir yağı ile hazırlanan FK5-5 emülsiyona ait zeta potansiyeli grafiği

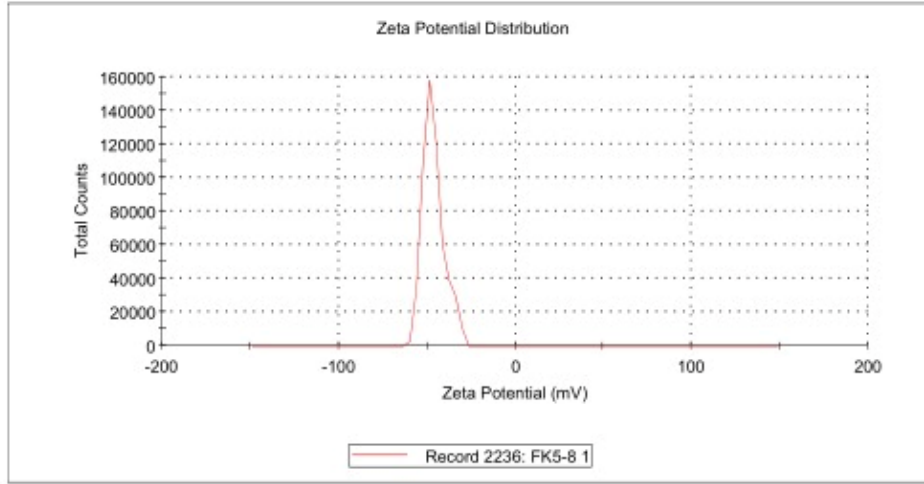


%15'lik kenevir yağı ile hazırlanan FK5-6 emülsiyona ait zeta potansiyeli grafiği

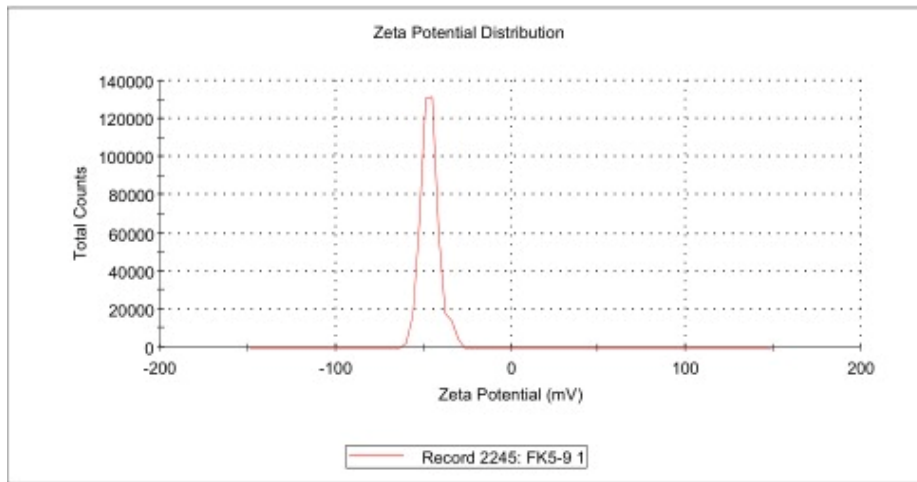
Ek-2 (devamı) Tez çalışması sırasında hazırlanan numunelerin zeta potansiyeli grafikleri



%15'lik kenevir yağı ile hazırlanan FK5-7 emülsiyona ait zeta potansiyeli grafiği

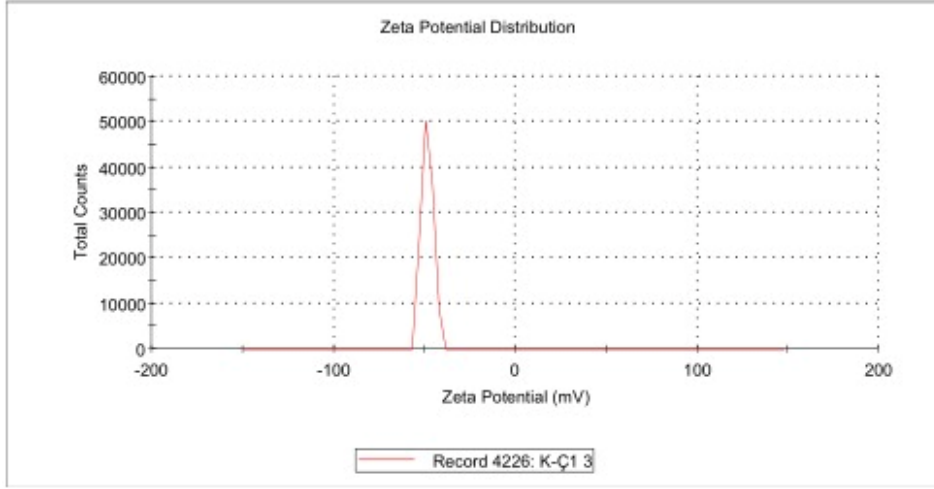


%15'lik kenevir yağı ile hazırlanan FK5-8 emülsiyona ait zeta potansiyeli grafiği

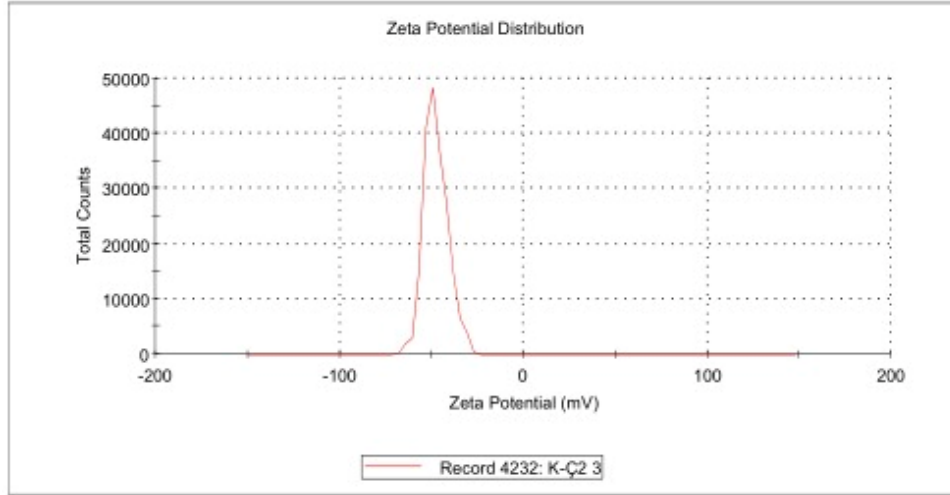


%15'lik kenevir yağı ile hazırlanan FK5-9 emülsiyona ait zeta potansiyeli grafiği

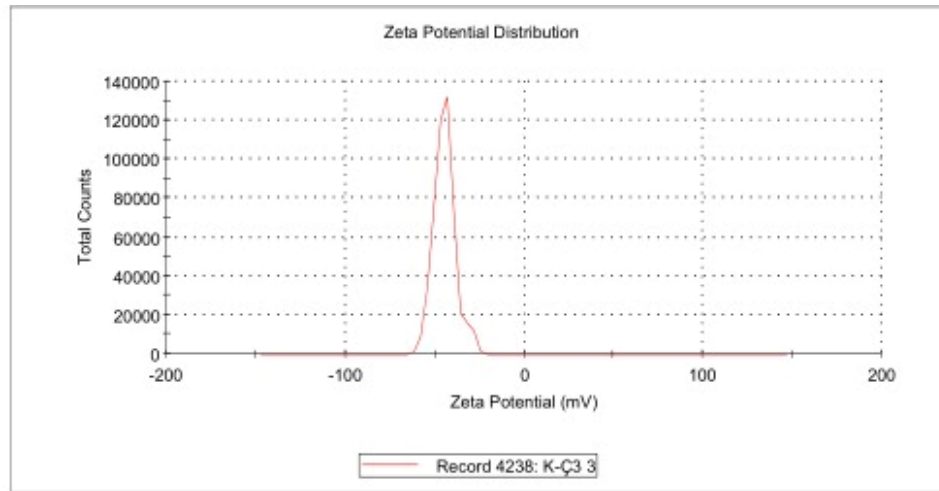
Ek-2 (devamı) Tez çalışması sırasında hazırlanan numunelerin zeta potansiyeli grafikleri



%10'luk kenevir yağı ve çörekotu yağı ile hazırlanan KY-COY-1 emülsiyona ait zeta potansiyeli grafiği

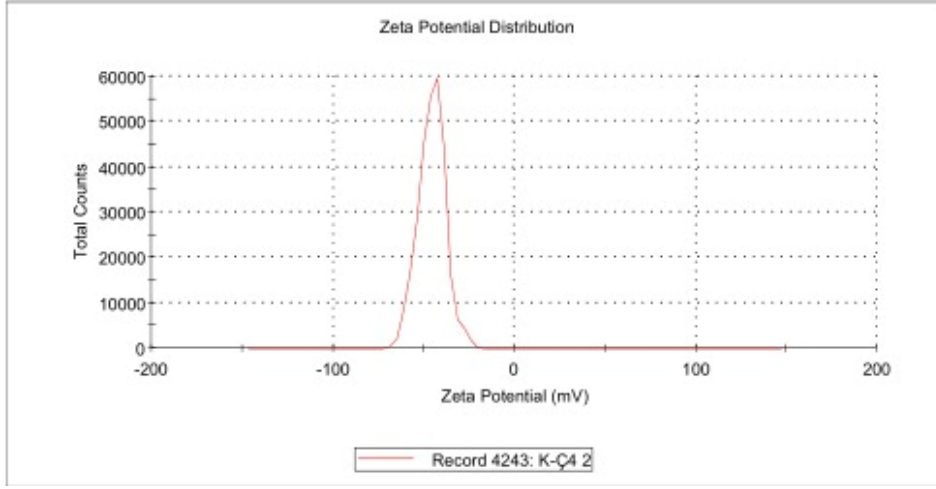


%10'luk kenevir yağı ve çörekotu yağı ile hazırlanan KY-COY-2 emülsiyona ait zeta potansiyeli grafiği

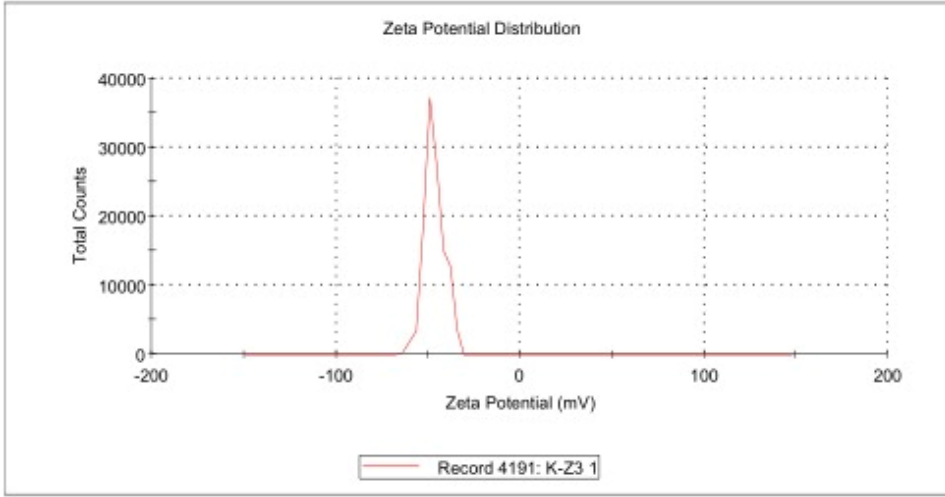


%10'luk kenevir yağı ve çörekotu yağı ile hazırlanan KY-COY-3 emülsiyona ait zeta potansiyeli grafiği

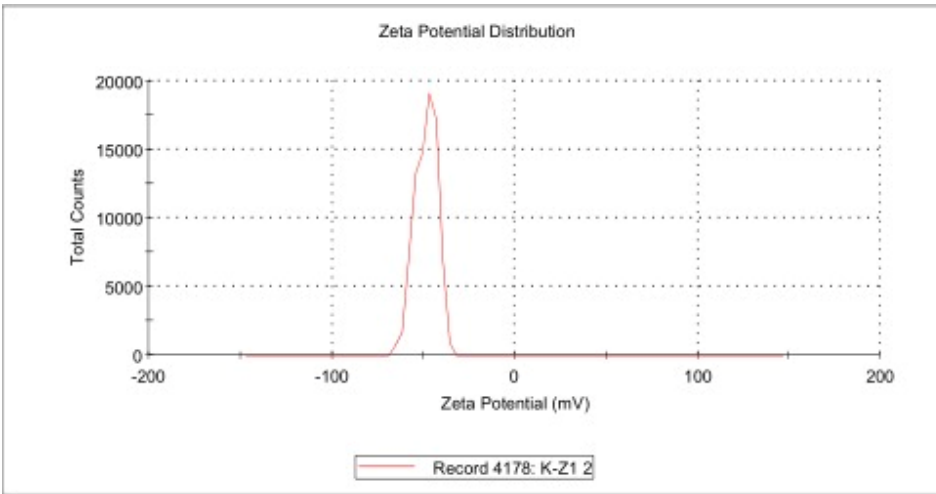
Ek-2 (devamı) Tez çalışması sırasında hazırlanan numunelerin zeta potansiyeli grafikleri



%10'luk kenevir yağı ve çörekotu yağı ile hazırlanan KY-COY-4 emülsiyona ait zeta potansiyeli grafiği

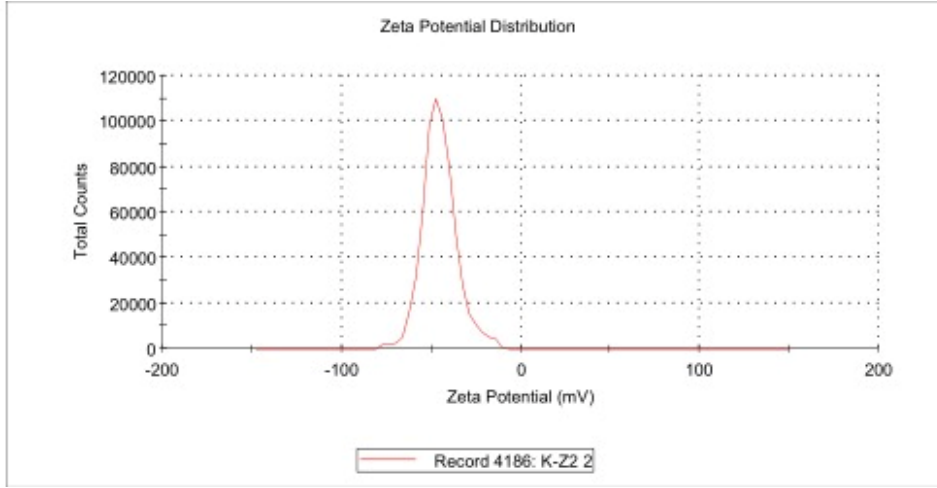


%10'luk kenevir yağı ve çörekotu yağı ile hazırlanan KY-ZY-1 emülsiyona ait zeta potansiyeli grafiği

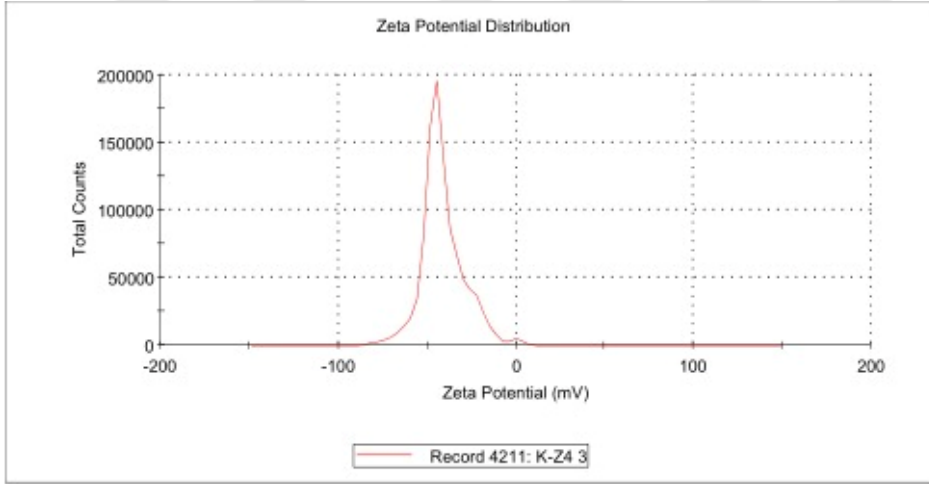


%10'luk kenevir yağı ve çörekotu yağı ile hazırlanan KY-ZY-2 emülsiyona ait zeta potansiyeli grafiği

Ek-2 (devamı) Tez çalışması sırasında hazırlanan numunelerin zeta potansiyeli grafikleri



%10'luk kenevir yağı ve çörekotu yağı ile hazırlanan KY-ZY-3 emülsiyona ait zeta potansiyeli grafiği



%10'luk kenevir yağı ve çörekotu yağı ile hazırlanan KY-ZY-4 emülsiyona ait zeta potansiyeli grafiği