



**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**DEFNE UÇUCU YAĞININ BAL MUMU KULLANARAK
MİKROENKAPSÜLASYONU VE KAPSÜLLERİN KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zeyid ELMAHLUL

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Gıda Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

AĞUSTOS 2025

**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**DEFNE UÇUCU YAĞININ BAL MUMU KULLANARAK
MİKROENKAPSÜLASYONU VE KAPSÜLLERİN
KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Zeyid ELMAHLUL
(22434983016)
ORCID: 0009-0005-7032-1146**

**Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı
Gıda Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı**

**Danışman: Prof. Dr. Rasim Alper ORAL
ORCID: 0000-0001-7530-7478**

AĞUSTOS 2025

BTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 22434983016 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Zeyid ELMAHLUL, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “DEFNE UÇUCU YAĞININ BAL MUMU KULLANARAK MİKROENKAPSÜLASYONU VE KAPSÜLLERİN KARAKTERİZASYONU” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Rasim Alper ORAL**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Nadide SEYHUN**
Bursa Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. HİLAL SUSURLUK
Bursa Uludağ Üniversitesi

Savunma Tarihi : **24 Temmuz 2025**

Teslim Tarihi :



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Zeyid ELMAHLUL

İmzası:





Sevgili eşime ve aileme,

ÖNSÖZ

Tez konumun araştırmasının planlanması, yürütülmesi ve değerlendirilmesi aşamalarına kadar her türlü yardım ve desteğini gördüğüm bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım çok değerli, ilgisini ve önerilerini göstermekten kaçınmayan değerli danışman hocam Prof. Dr. Rasim Alper ORAL'a teşekkür etmek istiyorum.

Bu çalışmanın hazırlanması sürecinde katkı ve destek sağlayan, araştırmanın her aşamasında bilgi ve önerilerinden yararlandığım hocam Arş. Gör. Esranur TAN'a da teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca manevi desteğini hiçbir zaman benden esirgemeyen ve her anımda yanımda olan sevgili eşim Beraa ELAHLUL'a sonsuz teşekkür ve saygılarım sunarım.

Ağustos 2024

Zeyid ELMAHLUL
(Gıda Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	viii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR.....	x
SEMBOLLER	xii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xiv
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	2
2.1 Defne Bitkisi	2
2.1.1 Defne bitkisinin ekolojisi	3
2.1.2 Defne bitkisinin doğal yayılış alanları	3
2.2 Uçucu Yağlar.....	4
2.2.1 Uçucu yağların elde edilmiş yöntemleri	6
2.2.2 Uçucu yağların bileşimi	8
2.2.3 Defne uçucu yağı	9
2.2.4 Uçucu yağlar ve defne yaprağı uçucu yağlarının insektisit aktivitesi.....	12
2.2.5 Defne uçucu yağının antimikrobiyal etkisi	16
2.3 Enkapsülasyon Teknolojisi ve Özellikleri.....	17
2.3.1 Enkapsüle edilen bileşenler (aktif maddeler).....	17
2.3.2 Enkapsülasyon yöntemleri	18
2.3.2.1 Püskürtmeli kurutma	18
2.3.2.2 Koaservasyon	19
2.3.2.3 Emülsiyon oluşturma	21
2.3.2.4 Dondurarak kurutma	22
2.3.2.5 Damlatma (iyonik jelasyon).....	22
2.3.3 Enkapsülasyonda kullanılan kaplama materyalleri.....	25
2.3.3.1 Aljinat.....	25
2.3.3.2 Kitosan	27
2.3.3.3 Karagenan	28
2.3.3.4 Pektin.....	28
2.3.3.5 Nişasta	28
2.3.3.6 Gamlar.....	29
2.3.3.7 Bal mumu	30
2.4 Uçucu Yağların Enkapsülasyonu	31
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	32
3.1 Hammadde ve Kimyasallar	32
3.2 Enkapsülasyon Prosesinin Gerçekleştirilmesi.....	32
3.3 Kapsüllerin Bal Mumu İle Kaplanması.....	33

3.4 Defne Yağında GC-MS ile Uçucu Bileşen Analizi.....	33
3.5 Kapsüllerin Analizleri	34
3.5.1 Enkapsülasyon Verimi, Enkapsülasyon Etkinliği ve Yükleme Kapasitelerinin Belirlenmesi	34
3.5.2 Kapsüllerin Kontrollü Salım Hızının Belirlenmesi.....	34
3.5.3 FT-IR Analizi.....	35
3.5.5 Tekstür Analizi.....	35
3.5.4 Kapsüllerin boyut analizleri ve mikroskop görüntüleri	35
3.5.5 Renk Analizi	36
3.6 İstatistiksel Analizler.....	36
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	37
4.1 Defne Yağının Uçucu Bileşen Profili.....	37
4.2 Enkapsülasyon Verimi, Enkapsülasyon Etkinliği ve Yükleme Kapasiteleri ...	40
4.3 Kontrollü Salım	41
4.4 FT-IR Analizi	44
4.5 Tekstür Analizi	45
4.6 Kapsüllerin boyut analizleri ve mikroskop görüntüleri.....	47
4.7 Renk Analizi.....	49
4.8 Emülsiyon Stabilitesi.....	51
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	53
KAYNAKLAR.....	54
ÖZGEÇMİŞ.....	63

KISALTMALAR

C	: Dolgulu mikrokapsüller
CaCl₂	: Kalsiyum klorür
CB	: Bal mumu kaplanmış dolgulu mikrokapsüller
CMC	: Karboksimetil selüloz
D_{max}	: Maksimum çap
D_{min}	: Minimum çap
EE	: Enkapsülasyon etkinliği
GABA	: Gamma-aminobutirik asit
GRAS	: Generally Recognize as Safe
HLB	: Hidrofilik-Lipofilik Denge
LD	: Ölümcül doz
LC	: Ölümcül konsantrasyon
M	: Ağsı mikrokapsüller
MB	: Bal mumu kaplanmış ağsı mikrokapsüller
mS	: Elektrik iletkenliğinin bir ölçü birimi
O/W	: Yağ içinde su emülsiyonu (oil-in-water)
YK	: Yükleme kapasitesi

SEMBOLLER

eV	: Elektron volt
κ-	: Kappa
γ-	: Kayma hızı
Ψ	: Küresellik değeri
μ	: Viskozite
z	: Yük

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1: Defne yağının uçucu bileşen profili.	38
Çizelge 4.2: Enkapsülasyon verimi, enkapsülasyon etkinliği ve yükleme kapasiteleri.	38
Çizelge 4.3: Tekstür özelliklerin çizelgesi.....	47
Çizelge 4.4: Renk parametreleri.	50
Çizelge 4.5: Farklı emülsiyonların faz ayırım süreleri.	51

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Defne bitkisinin Türkiye’deki doğal yayılış alanları.	4
Şekil 2.2: Defne uçucu yağında bulunan başlıca bileşenler.	11
Şekil 2.3: Püskürtmeli kurutma sistemi.	18
Şekil 2.4: Jelasyon/kalsiyum-aljinat çapraz bağlanma mekanizması.	23
Şekil 2.5: Damlatma sistemi.	23
Şekil 2.6: Aljinatın yapısı.	26
Şekil 3.1: Enkapsülasyon işlemi şematik görünümü.	33
Şekil 4.1: Kapsüllerin 25 °C’deki salımı.	42
Şekil 4.2: Kapsüllerin 35 °C’deki salımı.	42
Şekil 4.3: Kapsüllerin 45 °C’deki salımı.	43
Şekil 4.4: Mikrokapsüllerin FT-IR spektrumları.	46
Şekil 4.5: Kapsüllerin yüzey ve enine kesitlerinin optik mikroskop görüntüsü.	49

DEFNE UÇUCU YAĞININ BAL MUMU KULLANARAK MİKROENKAPSÜLASYONU VE KAPSÜLLERİN KARAKTERİZASYONU

ÖZET

Bu çalışmada, defne (*Laurus nobilis* L.) uçucu yağının mikroenkapsülasyonu amacıyla dolgulu (iç jelasyon) ve ağsı (dış jelasyon) Enkapsülasyon teknikleri kullanılarak hazırlanan mikrokapsüllerin, bal mumu kaplamasıyla birlikte taşıyıcı sistem özellikleri ve salım davranışları kapsamlı şekilde değerlendirilmiştir. Kimyasal analizler sonucunda, defne uçucu yağının monoterpenler, ketonlar, karboksilik asitler ve aromatik hidrokarbonlar gibi çeşitli bileşik grupları açısından zengin bir profil sunduğu belirlenmiştir. Bu çok bileşenli yapı, taşıyıcı sistemlerin etkinliği açısından formülasyonun önemli bir parametresi olarak değerlendirilmiştir. Farklı kapsülleme teknikleri ile üretilen mikrokapsüller, yükleme kapasitesi (YK), enkapsülasyon verimi (EE) ve üretim verimi (ÜV) bakımından karşılaştırılmıştır. Dolgulu (iç jelasyon) yöntem ile elde edilen bal mumu kaplı kapsüller (CB) en yüksek YK (%42,12), EE (%85,66) ve ÜV (%87,87) değerlerini göstermiştir. Bu değerler, dolgulu yöntemin aktif bileşeni daha etkin biçimde kapsül içine alarak koruyabildiğini göstermektedir. Ağsı (dış jelasyon) yöntemle elde edilen kapsüller ise görece daha düşük taşıma kapasitesi sunmuş, ancak üretim sırasında daha stabil bir yapı oluşturmuştur. Kontrollü salım testleri, üç farklı sıcaklıkta (25 °C, 35 °C, 45 °C) gerçekleştirilmiş ve bal mumu kaplamasının uçucu yağ kaybını azalttığı net bir şekilde ortaya konmuştur. Kaplamasız mikrokapsüllerde karşılaştırıldığında, bal mumu kaplanmış gruplarda (CB ve MB) uçucu yağ salımı daha kontrollü gerçekleşmiş, sıcaklık artışına rağmen daha düşük salım oranları elde edilmiştir. Özellikle bal mumu kaplanmış dolgulu mikrokapsüller (CB), tüm sıcaklıklarda en düşük salım yüzdeleri ile uçucu bileşenlerin korunmasında üstün bir performans sergilemiştir. Elde edilen veriler, dolgulu yöntemiyle hazırlanan kapsüllerin kontrollü ve yavaş salım gerektiren uygulamalarda daha uygun olduğunu; ağsı yöntemin ise yapısal stabilite açısından avantaj sunduğunu göstermektedir. Bal mumu kaplamanın her iki yöntem için de olumlu katkı sağladığı, uçucu bileşenlerin oksidatif kaybını önlediği ve mikrokapsül sisteminin dayanıklılığını artırdığı görülmüştür. Sonuç olarak, defne uçucu yağının mikroenkapsülasyonu için dolgulu ve ağsı yöntemlerin, bal mumu kaplaması ile stratejik biçimde kullanımı; farklı endüstriyel alanlara yönelik fonksiyonel taşıyıcı sistemlerin geliştirilmesinde etkili bir yaklaşım sunmaktadır. Bu çalışma, uçucu bileşenlerin korunması ve salım kontrolünün sağlanması açısından mikroenkapsülasyonun güçlü bir teknoloji olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Enkapsülasyon, Bal mumu, Mikrokapsül, Defne uçucu yağı, İyonik jelasyon.

MICROENCAPSULATION OF LAUREL ESSENTIAL OIL USING BEESWAX AND CHARACTERIZATION OF CAPSULES

SUMMARY

In this study, the carrier system properties and release behaviors of microcapsules prepared by using filled (internal gelation) and reticulated (external gelation) techniques for the microencapsulation of laurel (*Laurus nobilis* L.) essential oil with wax coating were evaluated comprehensively. Chemical analyses revealed that laurel essential oil presents a rich profile in terms of various compound groups such as monoterpenes, ketones, carboxylic acids and aromatic hydrocarbons. This multicomponent structure was evaluated as an important parameter of the formulation in terms of the efficiency of the carrier systems. Microcapsules produced by different encapsulation techniques were compared in terms of loading capacity (LC), encapsulation efficiency (EE) and production yield (PY). Wax-coated capsules (CB) obtained by the filled (internal gelation) method showed the highest values of LC (42.12%), EE (85.66%) and PY (87.87%). These values indicate that the filled method can protect the active ingredient by encapsulating it more effectively. The capsules obtained by the reticulated (external gelation) method offered a relatively lower carrying capacity but formed a more stable structure during production. Controlled release tests were carried out at three different temperatures (25 °C, 35 °C, 45 °C) and it was demonstrated that the wax coating reduced the loss of essential oil. Compared to uncoated microcapsules, the release of essential oil was more controlled in the wax coated groups (CB and MB) and lower release rates were obtained despite the increase in temperature. Especially the wax coated filled microcapsules (CB) showed a superior performance in the preservation of volatile components with the lowest release percentages at all temperatures. The data obtained indicate that the capsules prepared by the filled method are more suitable for applications requiring controlled and slow release, while the reticulated method offers advantages in terms of structural stability. Wax coating was found to contribute positively for both methods, preventing oxidative loss of volatile components and increasing the durability of the microcapsule system. In conclusion, the strategic use of filled and reticulated methods with wax coating for the microencapsulation of laurel essential oil offers an effective approach for the development of functional carrier systems for different industrial fields. This study reveals that microencapsulation is a powerful technology for the protection and release control of volatile components.

Keywords: Encapsulation, Beeswax, Microcapsule, Laurel essential oil, Ionic gelation.

1. GİRİŞ

Uçucu yağlar, bitkilerden elde edilen ve genellikle aroma, tat ve terapötik özellikleri ile bilinen doğal bileşenlerdir. Defne (*Laurus nobilis* L.) bitkisinden elde edilen uçucu yağ, antioksidan, antimikrobiyal ve antifungal özellikleri nedeniyle çeşitli endüstriyel uygulamalarda dikkat çekmektedir (Bakkali ve diğ, 2008; Türköz ve diğ, 2020). Bununla birlikte, uçucu yağların doğal olarak uçucu ve çevresel faktörlere duyarlı olmaları, stabilite ve etkinliklerini sınırlayabilmektedir. Bu nedenle, uçucu yağları mikroenkapsülasyon yöntemiyle korumak ve kontrollü salım sağlamak, önemli bir araştırma alanı olarak öne çıkmıştır.

Mikroenkapsülasyon, aktif maddelerin bir kaplama materyali ile çevrelenerek korunmasını ve kontrollü salımını sağlayan bir tekniktir (Jafari ve diğ, 2008). Bu yöntem, gıda, kozmetik ve ilaç endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Mikroenkapsülasyonda kullanılan kaplama materyallerinin, aktif bileşenin stabilitesini sağlama, istenmeyen tat ve kokuları maskeleyme ve çevresel etkilerden koruma gibi özelliklere sahip olması gereklidir. Bal mumu, doğal ve biyolojik olarak parçalanabilir bir kaplama materyali olarak mikroenkapsülasyonda dikkat çekmektedir (Burt, 2004). Bal mumunun hidrofobik yapısı, uçucu yağları oksidasyondan korumak için ideal bir bariyer oluşturur.

Defne uçucu yağının bal mumu kullanılarak mikroenkapsülasyonu, yağın stabilitesini ve etkinliğini artırma potansiyeli sunmaktadır. Bu yöntemle elde edilen kapsüller, kontrollü salım özelliği sayesinde defne uçucu yağının çeşitli uygulamalarda daha etkin bir şekilde kullanılmasına olanak tanıyabilir. Ayrıca, mikroenkapsülasyon süreci, kapsüllerin morfolojisi, termal stabilitesi ve salım profili gibi kritik özellikleri karakterize etmek için detaylı analizler gerektirir.

Bu çalışma, defne uçucu yağının bal mumu kullanılarak mikroenkapsülasyonu ve elde edilen kapsüllerin fizikokimyasal özelliklerinin belirlenmesini amaçlamaktadır. Çalışma sonucunda, defne uçucu yağının mikroenkapsülasyonu ile elde edilen stabilite ve kontrollü salım avantajlarının ortaya konulması hedeflenmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 Defne Bitkisi

Defne Bitkisi (*Laurus nobilis* L.) 2500 - 3500 arasında sayısıyla *Lauraceae* (defnegiller) familyasına mensup, yaprak dökmeyen ve 2 ila 20 metre arasında boylanabilen çalı formunda bir bitkidir. Defne, başta Doğu Asya ile Güney ve Kuzey Amerika'nın tropikal ve subtropikal bölgeleri olmak üzere geniş bir coğrafyada yetişmektedir. Bununla birlikte, doğal yayılış alanları genellikle yüksek yıllık yağış miktarına sahip olan Akdeniz iklim kuşağı içerisinde yer almaktadır (Caputo ve diğ, 2017; Dobroslavić ve diğ, 2022).

Defne bitkisi ince ve tüysüz dallara sahip olup, dar, dikdörtgen-mızrak şeklinde, kösele dokulu yapraklarla karakterize edilmektedir. Yaprakların üst yüzeyi tüysüz, parlak ve zeytin yeşili ile kahverengi tonlarında iken, alt yüzeyi mat zeytin ya da kahverengi renkte olup belirgin bir orta damar ve yan damar yapısı sergilemektedir. Ezildiğinde kendine özgü aromatik bir koku yayan yapraklar, acımsı ve karakteristik bir tada sahiptir.

Bitki, iki evcikli (dioik) çiçeklenme özelliği göstermektedir. Çiçekler soluk sarı-yeşil renkte, yaklaşık 1 cm çapında olup, yaprak koltuklarında çiftler halinde yer almaktadır. Erkek çiçekler, 8 ila 12 adet erkek organ (stamen) ile bunların tabanında konumlanmış iki bezeyi (gland) içermektedir. Dişi çiçeklerde ise 2 ila 4 adet kısır erkek organ (staminod) bulunmaktadır.

Dişi bireylerde, sonbaharda olgunlaşan meyveler tek tohumlu, oval formda (10–15 mm), parlak siyah renkte ve dut benzeri sert çekirdekli yapıda gelişmektedir. Zeytine benzer özellik taşıyan bu meyveler, başlangıçta yeşil renkte olup, olgunlaştıkça parlak, mavimsi-siyah bir renk almaktadır. Kurutulmuş defne meyveleri yaklaşık olarak 15 mm uzunluğunda ve 10 mm genişliğinde, sert çekirdekli ve oval formdadır (Alejo-Armijo ve diğ, 2017).

Akdeniz defnesi yuvarlak uçlu ve sık dallı, iki evcikli bir ağaçtır. Genellikle ağaç benzeri bir yapıya sahiptir ve 10-15 m'ye kadar uzayabilmektedir. Taze sürgünler

başlangıçta yeşildir, daha sonra siyahımsı kırmızıya döner ve tüysüzdür. Gövdesi koyu gri veya siyaha yakın kabuk rengindedir. Kök ve kütük sürgünleri üretme yeteneği yüksektir (Karık ve diğ, 2015).

2.1.1 Defne bitkisinin ekolojisi

Defne bitkisinin doğal olarak yetişebildiği alanları belirleyen başlıca çevresel etmenler; toprak özellikleri, hava koşulları ve nem düzeyidir (Baytöre, 2014). Akdeniz defnesi, tipik olarak Akdeniz ikliminin egemen olduğu, yaz aylarının sıcak ve kurak, kış aylarının ise ılıman geçtiği bölgelerde gelişim göstermeye uygundur (Anonim, 2016). Özellikle akarsu kenarlarına yakın, yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu ve deniz kaynaklı nemli rüzgârların etkili olduğu alanlar defne için elverişli habitatlar sunar. Kireç içeriği yüksek, humusça zengin ve serin topraklar bitkinin gelişimi açısından avantaj sağlasa da, optimum besin alımı için toprak pH seviyesinin 6,70 ile 7,96 arasında olması gerekmektedir. Ayrıca, defnenin doğal olarak yetiştiği bölgelerdeki toprakların tuz içeriği düşüktür; toprakta tuzluluk söz konusu olduğunda ise bu değerin 0,21 mS/cm'yi aşmaması gerekir (Baytöre, 2014).

Defne bitkisinin yetiştirildiği bölgelerde ortalama sıcaklık değerleri nadiren 0 °C'nin altına düşmektedir. Bu bölgelerde yıllık yağış miktarı ise genellikle 600 ile 2000 mm arasında değişmektedir. Defne, yara iyileştirici ve hücre yenileyici özelliklerinin yanı sıra, hava kirliliğine karşı gösterdiği yüksek tolerans ile de dikkat çekmektedir (Anonim, 2016).

2.1.2 Defne bitkisinin doğal yayılış alanları

Defne Akdeniz ikliminin egemen olduğu bölgelerin tipik bitki örtüsünde yer alan karakteristik bir türdür. Doğal yayılış alanı başta Akdeniz Havzası olmak üzere, Anadolu Yarımadası ve Balkanlar'ı da kapsamaktadır. Türkiye'nin yanı sıra Yunanistan, eski Yugoslavya ülkeleri, Romanya, İtalya, İspanya, Fas, Portekiz, Fransa, Suriye, Cezayir ve Libya'nın doğu kıyılarında yaygın olarak bulunur. Ayrıca Akdeniz'e kıyısı olan adalarda ve Kaliforniya, Meksika, Kırım, Kanarya Adaları gibi benzer iklim özelliklerine sahip bölgelerin yanı sıra, Karadeniz kıyısındaki Rusya, Gürcistan ve Filistin gibi ülkelerde de defne bitkisine rastlanmaktadır (Kavaklı, 2012).

Defne bitkisi, ülkemizin Doğu Karadeniz kesiminden başlayarak İskenderun kıyılarına kadar yayılmaktadır (Şekil 2.1). Ege ve Akdeniz bölgelerinde subtropik iklimin

etkinlik gösterdiği iç kesimlere kadar uzanış göstermektedir. Birçok bölgede 600-800 m yükseklikte bile yetişme imkânı bulmaktadır. Akdeniz Defnesi, Karadeniz Bölgesi’nde Trabzon ile Karadeniz Ereğlisi arasında yer alan ormanlık alanlarda doğal olarak yayılım göstermektedir. Marmara Bölgesi’nde ise İstanbul, Bursa ve Balıkesir çevresindeki ormanlarda varlığını sürdürmektedir. Ege Bölgesi’nde İzmir, Manisa, Muğla ve Aydın illerinde doğal olarak yetişen defne bitkisi, Akdeniz Bölgesi’nde ise Antalya, Mersin, Adana, Tarsus, Silifke, Kahramanmaraş, Antakya ve İskenderun gibi çeşitli yerleşim alanlarında uygun ekolojik koşullar bularak yayılım göstermektedir (Erden, 2005).



Şekil 2.1: Defne bitkisinin Türkiye’deki doğal yayılış alanları (OGM, 2022).

2.2 Uçucu Yağlar

Uçucu yağlar, bitkilerin yaprak, çiçek, tomurcuk, meyve, gövde, dal, kabuk, kök ve tohum gibi farklı bölümlerinden çeşitli ekstraksiyon teknikleri kullanılarak elde edilen, genellikle kaynak alındığı bitkinin adıyla anılan aromatik ve kolay buharlaşabilen bileşiklerdir (Rios, 2016; Chouhan ve diğ., 2017).

Uçucu yağlar, pek çok bitki türünde doğal olarak bulunmakla birlikte, özellikle “aromatik bitkiler” olarak tanımlanan türlerden elde edilmektedir. Bu gruba dahil olan bitkiler, uçucu bileşikler açısından zengin olup, genellikle belirgin koku ve tat özellikleri ile öne çıkar. Fesleğen, defne, tarçın, okaliptüs, limon otu, nane, kimyon, kişniş, maydanoz, rezene, kekik, çam, biberiye, çay ağacı, adaçayı, badem, anason, kakule, sedir, sandal ağacı, mersin, ardıç, papatya, karanfil, sardunya, yasemin, lavanta ve mercanköşk gibi bitkiler, başlıca aromatik türler arasında yer almaktadır.

(Tongnuanchan ve Benjakul, 2014). Aromatik bitkiler ve uçucu yağlar eski çağlardan beri halk hekimliğinde sıklıkla kullanılmaktadır (Nazzaro ve diğ, 2013).

Uçucu yağlar, kokulu maddelerin saf halleri ya da karışımları şeklinde tanımlanabileceği gibi, kokulu ve kokusuz bileşiklerin bir arada bulunduğu karışımlar olarak da değerlendirilebilir. Bu maddeler, normal çevresel koşullarda uçucu özellik gösteren ve kimyasal olarak genellikle saf bileşiklerdir. Uçucu yağların kimyasal içeriği; bitkinin genetik özellikleri, yetiştiği çevredeki iklimsel şartlar, yağış düzeyi, coğrafi kökeni ve uygulanan ekstraksiyon yöntemi gibi pek çok etmene bağlı olarak büyük ölçüde farklılık gösterebilmektedir (Tongnuanchan ve Benjakul, 2014; Rios, 2016).

Uçucu yağlar uygun tekniklerle elde edilmediğinde; renk, koku ve tat özelliklerinde bozulmaların yanı sıra, viskozite artışı gibi bazı fiziksel değişiklikler de ortaya çıkabilmektedir (Tongnuanchan ve Benjakul, 2014).

Karmaşık bir kimyasal yapıya sahip olan uçucu yağlar, genellikle farklı oranlarda 20 ila 60 civarında bileşen içerebilir. Bu yağların yapısında, düşük miktarda bulunan yardımcı bileşiklerin yanı sıra, çoğunlukla %20 ile %70 arasında değişen oranlarda yüksek konsantrasyonlu iki ya da üç ana bileşen belirleyici rol oynamaktadır (Chouhan ve diğ, 2017).

Uçucu yağların bileşimini, çoğunlukla lipofilik özellik gösteren ve yüksek uçuculuğa sahip ikincil bitki metabolitleri oluşturur. Bu grupta özellikle mono- ve seskiterpenler ile allil ve izoallil fenoller ön plana çıkar. Bununla birlikte, damıtılabilir özellikteki diğer bazı bileşikler arasında kumarinler, antrakınonlar ve belirli alkaloid türleri de bulunmaktadır (Rios, 2016).

Aromatik ve tıbbi bitkilerden elde edilen uçucu yağlar, sahip oldukları biyolojik etkiler sayesinde bilimsel araştırmalarda ilgi çeken bir konu hâline gelmiştir. Özellikle serbest radikalleri nötralize etme kapasiteleriyle öne çıkan bu yağlar, güçlü antioksidan etkileriyle dikkat çeker. Ayrıca antimikrobiyal, antiseptik, antibakteriyel, antiviral, antiparazitik, antifungal ve insektisidal gibi çok yönlü biyolojik aktivitelere de sahip olabilmektedir (Chouhan ve diğ, 2017).

Uçucu yağlar, çok çeşitli kullanım alanlarına sahip bileşiklerdir. Özellikle kozmetik ve parfümeri sektörlerinde yaygın bir şekilde tercih edilmekle birlikte, sahip oldukları

tedavi edici, antimikrobiyal ve antioksidan özellikler sayesinde tarım ve gıda endüstrisinde de değerlendirilmektedir (Rios, 2016).

2.2.1 Uçucu yağların elde ediliş yöntemleri

Uçucu yağlar, bitkinin içerdiği yağ miktarı, türü ve kullanılan organına bağlı olarak çeşitli ekstraksiyon yöntemleriyle elde edilebilir. Aroma içeren bileşiklerin analizi, özellikle tarım ve gıda alanlarında oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Uçucu yağların çıkarılmasında kullanılan çeşitli yöntemler bulunmakta olup, her bir yöntem kendine özgü avantajlar sunar ve elde edilen yağların hem biyolojik hem de fizikokimyasal özelliklerinin belirlenmesinde etkili rol oynamaktadır (Aziz ve diğ, 2018).

Soğuk ekstraksiyon, uçucu yağ elde etmede kullanılan en eski tekniklerden biri olup, damıtma yönteminin geliştirilmesinden önce uygulanan yöntemlerden biridir. Verim açısından düşük sonuçlar vermesine rağmen, özellikle turuncgil meyvelerinin kabuklarından yağ çıkarmada sıkça tercih edilen bir yöntemdir (Reyes-Jurado ve diğ, 2015).

Uçucu yağların bitkilerden elde edilmesinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biri buhar damıtmadır. Bu teknikle elde edilen uçucu yağların verimi genellikle %93 civarındadır. Yöntemde, bitki materyali ya doğrudan kaynar suya yerleştirilir ya da buharla ısıtılır; uygulanan ısı, bitki hücrelerinin parçalanmasına neden olarak uçucu bileşiklerin serbest kalmasını sağlar. Hidrodifüzyon, buhar damıtmanın bir alt yöntemi olarak değerlendirilir ve bu iki yöntem arasındaki temel fark, buharın sisteme giriş yönüdür. Ayrıca bu işlemler düşük basınç veya vakum koşullarında da uygulanabilir ve bu sayede buhar sıcaklığı 100 °C'nin altına düşürülebilir. Hidrodifüzyon yöntemi, daha kısa sürede işlem tamamlanması ve daha az buhar kullanılması sayesinde, buhar damıtmaya göre daha yüksek verim sağlayabilmektedir (Tongnuanchan ve Benjakul, 2014).

Uçucu yağların elde edilmesinde kullanılan bir diğer yöntem ise kökeni Orta Çağ'a dayanan hidrodistilasyon tekniğidir (Richter ve Schellenberg, 2007; Chouhan ve diğ, 2017). Ancak, bu yöntemde uygulanan ısı, buhar ve pH değişimleri, bileşenlerin zarar görmesine yol açabilir. Hidrodistilasyon sırasında, suda çözünebilir bileşenlerin yanı sıra uçucu bileşenlerin de kaybolması olasıdır. Ayrıca, hidrodistilasyon yöntemi, uzun bir işlem süresi ve yüksek miktarda bitki örneği gerektiren bir süreçtir. Yapılan çalışmalar, hidrodistilasyonla elde edilen uçucu yağların radikal süpürme

kapasitesinin, buhar damıtma yöntemiyle elde edilen yağlara kıyasla daha düşük olduğunu göstermektedir. Subkritik su veya basınçlı sıcak su yöntemi ise dinamik koşullar altında, suyu sıvı halde ve 100-374 °C aralığında tutmak için yüksek basınç uygulanarak gerçekleştirilen bir ekstraksiyon yöntemidir. Bu yöntemin etkinliğinin, hidrodistilasyon yöntemine kıyasla beş kat daha fazla olduğu bildirilmiştir (Tongnuanchan ve Benjakul, 2014).

Yukarıda bahsedilen yöntemlerin dışında, çözücü ekstraksiyonu da yaygın olarak kullanılan bir başka tekniktir (Richter ve Schellenberg, 2007). Genellikle suda çözünmeyen ve yüksek kaynama noktasına sahip doğal bileşiklerin ayrıştırılmasında tercih edilen bu yöntemde, buhar ve uçucu yağ buharı yoğunlaştırılarak sıvı hale getirilir. Ekstraksiyon sürecinde ise aseton, hekzan, petrol eteri, metanol veya etanol gibi çeşitli çözücüler kullanılabilir (Tongnuanchan ve Benjakul, 2014). Ancak, bu yöntemin etkinliği, bileşiklerin belirli çözücülerdeki çözünürlük özellikleriyle sınırlıdır; bu nedenle, uçucu olmayan, aşırı uçucu ya da suda çözünmeyen aroma bileşenlerinin ayrışması her zaman mümkün olmayabilir. Hızlandırılmış çözücü ekstraksiyonu olarak adlandırılan teknik ise, yüksek basınç ve sıcaklığın kısa süreli uygulanması sayesinde bileşenlerin zarar görme riskini en aza indirmektedir (Richter ve Schellenberg, 2007).

Kimyasal bileşenlerin korunmasında buhar distilasyonu ve çözücü ekstraksiyonu gibi klasik yöntemlerin yetersiz kalması, yeni alternatif tekniklerin geliştirilmesini teşvik etmiştir. Zararlı çözücüler kullanılmadan, oksijensiz koşullarda ve düşük sıcaklıklarda uçucu yağların çıkarılmasını mümkün kılan süperkritik akışkan ekstraksiyonu, bu anlamda geleneksel yöntemlere kıyasla etkili bir seçenek olarak öne çıkmaktadır (Goto ve diğ, 2005). Süperkritik akışkan ekstraksiyonu, ileri teknolojiye dayanan çevre dostu bir yöntem olup; işlem süresinin kısalması, enerji tüketiminin azalması, çözücü kullanımının minimuma indirilmesi ve düşük karbondioksit salımı gibi avantajlarıyla gelecekte önemli bir alternatif olarak görülmektedir (Reyes-Jurado ve diğ, 2015; Aziz ve diğ, 2018).

Karbondioksit, toksik olmaması ve süperkritik duruma geçebilmesi için nispeten düşük basınçlar ile oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda çalışabilmesi nedeniyle en yaygın kullanılan süperkritik çözücüdür. Bu yöntem, süperkritik çözücü içinde çözünür bileşenlerin ekstraksiyonunu ve ardından çözücünün ayrılması işlemini içeren iki aşamalı bir süreçtir. Çözünür bileşiklerin süperkritik sıvıdan ayrılması, süperkritik

çözücünün termodinamik özelliklerinin modifiye edilmesi, sistemin sıcaklık veya basıncının değiştirilmesi ya da adsorpsiyon-absorpsiyon yoluyla harici bir ajan kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir (Reyes-Jurado ve diğ, 2015).

Katı faz mikro ekstraksiyonu, uçucu yağların çıkarılmasında kullanılan ve aroma bileşiklerinin elde edilmesi için göreceli olarak yeni sayılan bir yöntemdir. Organik bileşiklerin rutin laboratuvar analizlerinde solvent kullanılmadan, basit ve etkili bir numune hazırlama tekniği olarak tercih edilmektedir. Kaplanmış silis lifleri, doğrudan numunenin içine veya numunenin üstündeki boşluğa yerleştirilerek, hedef bileşiklerin elyaf kaplama üzerinde adsorpsiyon yoluyla tutulması sağlanır (Richter ve Schellenberg, 2007).

2.2.2 Uçucu yağların bileşimi

Uçucu yağlar, kimyasal bileşimleri esas alınarak dört temel sınıfa ayrılmaktadır. Birinci sınıfı, bitkisel kaynaklı aromatik profillerin temelini oluşturan terpenik bileşikler oluşturmaktadır. Bu grup, özellikle monoterpenler ve seskiterpenler gibi alt sınıflarda incelenmektedir. İkinci sınıf olan aromatik bileşikler, fenolik yapıdaki bileşenleri içerir ve genellikle belirgin kokuları ile antimikrobiyal ve antioksidan aktiviteler göstermektedir. Üçüncü sınıf, düz zincirli hidrokarbonlardan oluşmakta olup, bu bileşikler yapısal olarak daha basit olmalarına rağmen uçuculuk özellikleri bakımından önem arz etmektedir. Son sınıf ise azot ve kükürt içeren bileşiklerden oluşmaktadır. Bu bileşikler uçucu yağlarda nispeten düşük oranlarda bulunsun da, karakteristik keskin kokuları ve biyolojik etkileri nedeniyle dikkate değer bir gruptur (Tanker ve Tanker, 1990).

Uçucu yağların kimyasal bileşiminin büyük bir kısmını, yaklaşık %90 oranında, terpenik bileşikler oluşturmaktadır. Bu bileşikler, uçucu yağlar içerisinde başlıca monoterpenler, seskiterpenler ve daha az oranda diterpenler şeklinde bulunmaktadır. Terpenlerin oksidatif dönüşümleri sonucunda oluşan oksijenli türevler, uçucu yağların karakteristik aroma, lezzet ve terapötik özelliklerini belirleyen temel bileşenlerdir. Bu nedenle, uçucu yağ taşıyan bitkilerin kimyasal analizlerinde, özellikle bu oksijenli bileşikler dikkate alınmakta ve biyolojik aktiviteleri açısından öncelikli olarak değerlendirilmektedir (Cellat, 2011).

Terpenler iki ya da daha fazla izopren (C_5H_8)_n biriminden meydana gelmektedir. Formülde n=2 ise oluşan terpen monoterpen, n=3 olursa seskiterpen, n=4 ise diterpen,

n=5 olursa sesterterpen, n=6 olursa da triterpenler olarak isimlendirilmektedir. Birçok uçucu yağın yapısında yüksek oranda terpen hidrokarbon mevcuttur (Bayrak, 2006).

Benzonitler alkoller, asitler, esterler, aldehytler, ketonlar vb. organik fonksiyonel grupların tümünü içermektedirler (Bayrak, 2006). Uçucu yağların bileşiminde genellikle azot ve kükürt içeren bileşiklere sık rastlanmamakla birlikte, bitkilerin distilasyon süreci sırasında amonyak, trimetilamin, hidrosiyamik asit ve hidrojen sülfür gibi bazı azotlu ve kükürtlü uçucu bileşiklerin oluşabildiği bilinmektedir (Bayrak, 2006; Evren ve Tekgüler, 2011).

Doğal yapısında azot içeren bazı bileşikler, özellikle indol ve skatol, belirgin koku ve aroma profilleriyle dikkat çekmektedir (Bayrak, 2006). Kükürt içeren bileşikler ise genellikle bitkisel materyalde gerçekleşen enzimatik reaksiyonlar sonucunda oluşmaktadır. Örneğin, soğan, sarımsak ve hardal gibi bitkilerin uçucu yağlarında bu tür reaksiyonlar yaygın olarak gözlemlenmektedir. Bununla birlikte, hidrojen sülfür genellikle su distilasyonu sırasında ortaya çıkmakta, dimetil sülfüre ise nane yağı rektifikasyonu sırasında oluşan distilasyon ürünlerinde rastlanmaktadır (Bayrak, 2006).

2.2.3 Defne uçucu yağı

Defne uçucu yağı, özellikle güçlü antioksidan kapasitesi sayesinde bilimsel ve ticari açıdan dikkat çeken önemli bir bitkisel üründür. Defne yapraklarından elde edilen uçucu yağın kimyasal bileşimi oldukça zengindir ve pek çok biyolojik olarak aktif bileşen içermektedir. Bu bileşenler arasında tricyclene, limonene, γ -terpinene, sabinene, α -terpinene, α -phellandrene, borneol, α -pinene, eugenol, linalool, p-cymene, camphene, β -pinene, terpinene-4-ol, α -terpineol, α -thujene, myrcene, sabinol, γ -cadinene, β -elemene, camphor, germacrane A, germacrane D-4-ol, α -humulene ve terpineol gibi uçucu bileşikler öne çıkmaktadır (Chahal ve diğ, 2017).

Yapılan araştırmalar, deniz kenarı, dağlık bölgeler ve düz arazilerde tarımı yapılan defne bitkisinin majör bileşenlerini incelemiştir. Bu çalışmalara göre, defne yağının başlıca bileşenleri sırasıyla 1,8-cineole (%48,01, 31,78 ve 17,64), α -pinene (%7,69, 11,69 ve 17,96), β -pinene (%3,91, 6,91 ve 9,51), sabinene (%2,93, 4,49 ve 3,37), limonene (%1,43, 2,42 ve 2,89) ve linalool (%0,40, 0,24 ve 0,24) olarak tespit edilmiştir (Said ve Hussein, 2014).

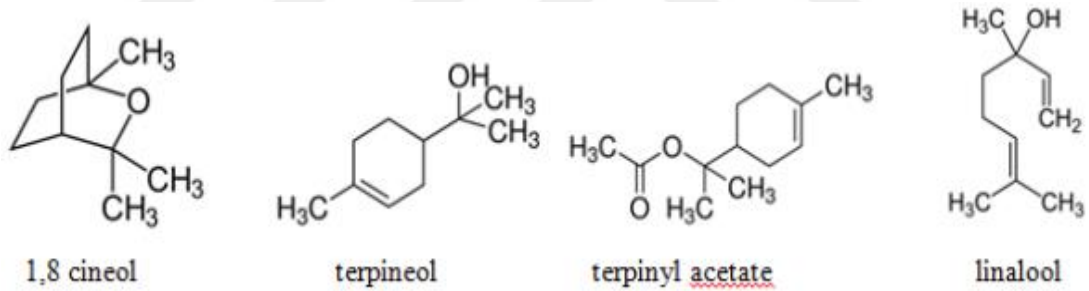
Lübnan'da tarımı yapılan defne yapraklarından elde edilen uçucu yağın 1,8-sineol içeriği %35,15 olarak bildirilmiştir. Ülkemizde, Karadeniz Bölgesi'nde tarımı yapılan genç ve olgun defne yapraklarından elde edilen uçucu yağların 1,8-sineol içeriği ise sırasıyla %24,2 ve %32,1 olarak rapor edilmiştir (Chahal ve diğ, 2017). Portekiz'de tarımı yapılan defne bitkisinin ise 1,8-sineol içeriği %27,2 olarak belirlenmiştir (Ramos ve diğ, 2012).

Kılıç ve diğ. (2004) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, Antakya, Yayladağı ve Samandağı bölgelerinde yetiştirilen defne bitkisinin yaprak ve meyve kısımlarındaki uçucu yağ bileşenleri gaz kromatografisi-kütle spektrometresi (GC-MS) yöntemiyle analiz edilmiştir. Analiz bulgularına göre, hem yaprak hem de meyve örneklerinde baskın uçucu bileşenin 1,8-sineol olduğu belirlenmiştir. Buna ek olarak, meyve örneklerinde (E)- β -ocimene ve bicyclogermacrene; çiçek kısımlarında α -eudesmol, β -elemene ve β -caryophyllene; tomurcuklarda ise (E)- β -ocimene ve germacrene D'nin bulunduğu tespit edilmiştir. Öte yandan, Ermenistan'ın Tavush bölgesi ile Gürcistan'ın Zugdidi bölgesinden elde edilen defne örneklerine ait etanol ekstraktlarının GC-MS analizleri sonucunda her iki örnekte de yüksek oranda oksijenli monoterpen olan 1,8-sineol saptanmıştır. Ayrıca, ekstraktlarda α -thujene, α -pinene, β -pinene, D-limonene ve o-cymene gibi bileşikler de majör bileşenler olarak tanımlanmıştır. Zugdidi bölgesine ait örneklerde ise bu bileşiklere ek olarak terpineol ve β -phellandrene varlığı da belirlenmiştir (Vardapetyan ve diğ, 2013).

Defne uçucu yağı, sahip olduğu çeşitli işlevsel ve teknolojik özelliklerle dikkat çekmektedir. Özellikle, defne uçucu yağının *Staphylococcus aureus* 6538P, *Escherichia coli* O157:H7 ve *Salmonella typhimurium* NRRL E 4463 gibi patojenlere karşı antimikrobiyal etkiye sahip olduğu bilinmektedir (El ve diğ, 2014). Ayrıca, defne uçucu yağı, *Tribolium castaneum* (Herbst) (Col: Tenebrionidae)'a karşı insektisidal etki göstermektedir. Yapılan çalışmalar, defne uçucu yağının polar kısmının insektisitler üzerinde, polar olmayan kısımdan daha etkili olduğunu ortaya koymaktadır (Chahal ve diğ, 2016). Defne uçucu yağı, insanlar üzerinde patojen etkili olan gram pozitif *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus faecalis* ve *Staphylococcus epidermidis* ile gram negatif *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, *Shigella flexneri*, *Salmonella typhi*, *Serratia marcescens* ve *Escherichia coli* üzerinde, tetracycline antibiyotikine kıyasla daha etkili olarak rapor edilmiştir ve güçlü bir antibakteriyel etkiye sahip olduğu bildirilmiştir (Moghtader ve Farahmand, 2013).

Ayrıca, defne uçucu yağı, *Glomus deserticola* ve *Glomus intraradices* üzerinde antifungal etki göstermektedir (Hassiotis, 2010). Defne uçucu yağı, aynı zamanda antioksidan özelliklere sahip olup, hidrodistilasyon yöntemiyle elde edilen defne uçucu yağı, linoleik asit peroksidasyonunu %63,53-89,18 arasında inhibe etmektedir (El ve diğ, 2014). Yapılan araştırmalar, defne bitkisine ait uçucu yağın bileşenleri arasında en belirgin ve önemli bileşiklerin monoterpen sınıfına ait olan 1,8-cineole, terpineol, terpinyl asetat ve linalool olduğunu ortaya koymuştur (Karık ve diğ, 2015; Karaoğul ve diğ, 2012) (Şekil 2.2).

Son zamanlarda yapılan çalışmalarda defne uçucu yağı, kozmetik, gıda ve ilaç sanayinde yaygın olarak kullanılan doğal bir uçucu yağ olduğu saptanmıştır. Ancak, uçucu yağlar doğrudan kullanıldığında bazı sınırlamalarla karşı karşıya kalabilirler. Enkapsülasyon, aktif bileşenlerin bir taşıyıcı madde içinde kapsüllenerek dış etkenlerden korunmasını ve kontrollü salımını sağlayan bir tekniktir. Bu yöntem, uçucu yağların korunması ve kontrollü bir şekilde kullanılması amacıyla sıklıkla başvurulan tekniklerden biridir. Özellikle defne uçucu yağı gibi çevresel faktörlere hassas olan bileşenlerin korunmasına katkıda bulunmaktadır.



Şekil 2.2: Defne uçucu yağında bulunan başlıca bileşenler (Karık ve diğ, 2015).

Enkapsülasyonun başlıca amacı, yağın oksijen, ışık ve sıcaklık gibi etkenlerden etkilenmesini önleyerek bozulmasını engellemektir. Böylece, defne uçucu yağının oksidasyonu ve bozulması önlenir, raf ömrü uzatılır. Bu koruma, özellikle uzun süreli muhafaza gerektiren ürünlerde büyük bir avantaj sağlamaktadır. Buna ek olarak, enkapsülasyon defne uçucu yağının kontrollü salımını mümkün kılar. Bu yavaş salım, yağın etkisinin daha uzun süre hissedilmesini sağlayarak kozmetik veya ilaç formülasyonlarında arzu edilen etkinin sürekliliğini destekler. Bu sayede, defne uçucu yağı içeren ürünlerde beklenen etki, kontrollü bir şekilde kullanıcıya sunulmuş olmaktadır. Uçucu yağların yapıları gereği buharlaşmaya meyilli olması, zamanla etkinliklerinin azalmasına neden olabilir. Enkapsülasyon, buharlaşmayı önleyerek

yağın formülasyon içindeki stabilitesini artırır. Böylece, defne uçucu yağı içeren ürünler daha uzun süre dayanıklılığını korur ve stabil yapısıyla kullanıcıya daha kaliteli bir ürün sunulmaktadır. Bazı durumlarda, defne uçucu yağı gibi bileşenlerin karakteristik koku ve tadı, ürün formülasyonlarında istenmeyebilir. Enkapsülasyon, bu kokuyu maskeleyerek istenmeyen duyuusal etkileri ortadan kaldırır. Bu özellik, defne uçucu yağı kullanılan formüllerin daha geniş bir kitleye hitap etmesini sağlamaktadır. Son olarak, bazı uçucu yağlar yüksek konsantrasyonlarda toksik etkilere neden olabilir. Enkapsülasyon, yağın güvenli bir dozda salımını sağlayarak toksisite riskini azaltır. Bu, defne uçucu yağının güvenli bir şekilde kullanılabilmesine olanak tanımaktadır. Enkapsülasyon teknolojisi, defne uçucu yağı gibi hassas bileşenlerin etkinliğini koruma, kontrollü salım sağlama, stabiliteyi artırma, istenmeyen koku ve tatları maskeleyerek ve toksisite riskini azaltma gibi çok sayıda avantaj sunar. Bu özellikleriyle enkapsülasyon, defne uçucu yağının etkin ve güvenli bir şekilde kullanılmasını mümkün kılabilir (Karık ve diğ., 2015; Luo ve diğ., 2011; Fang ve Bhandar, 2010).

2.2.4 Uçucu yağlar ve defne yaprağı uçucu yağlarının insektisit aktivitesi

Son yıllarda, çeşitli tarımsal zararlıların kontrolünde alternatif mücadele yöntemleri arasında uçucu yağ uygulamalarının potansiyel kullanımı üzerine yapılan araştırmalar artış göstermektedir. Uçucu yağlar, sentetik bileşiklere kıyasla çevrede daha hızlı şekilde bozulabilir ve bazıları, faydalı böcekler lehine daha yüksek bir özgüllük sergileyebilmektedir. Uçucu yağların depolanmış ürün zararlısı böceklerle karşı etkileri üzerine kapsamlı çalışmalar yapılmıştır. Yapılan yakın tarihli araştırmalar, uçucu yağların larvisit etkili, beslenme engelleyici etkileri, böcek gelişimini ve ergin çıkışını geciktirme gibi kapasitelerinin yanı sıra, yumurta ölümlerine neden olabilme ve yumurtlama üzerinde caydırıcı etkiler gösterme gibi özelliklere sahip olduklarını rapor etmiştir (Said-Al Ahl ve diğ., 2017).

Uçucu yağların mono ve seskiterpenoid bileşenleri, böcekler üzerinde hızlı etkili nörotoksinler olarak görev yapmakta olup, muhtemelen çoklu reseptör tipleri ile etkileşime girmektedir. Birçok araştırmacı, düşük moleküler ağırlıklı terpenoidlerin, laboratuvar biyoanalizlerinde asetilkolinesteraz enzim aktivitesini inhibe edebildiğini göstermiştir. Ancak, bu tür biyoaktivitenin hedef böcek türlerinde in vivo toksisite ile nadiren ilişkilendirildiği gözlemlenmiştir. Eklembacaklılarda bir nöromodülatör

olarak bilinen oktopamin reseptörleri, bu terpenoidlerin bazıları için hedef olarak tanımlanmıştır. Bu reseptörlerle etkileşim, böcekler ve akarlarda toksisite ve davranışsal müdahalelerle daha fazla ilişkili olabilmektedir. Böcek sinir sistemindeki diğer hedefler arasında ise GABA kapılı klorür kanalları ve nikotinik asetilkolin reseptörleri yer almaktadır (Isman, 2020).

Thujone, GABAA reseptörleri üzerinde etkili olan nörotoksik bir insektisit olarak sınıflandırılmaktadır. Thujone, [3H] EBOB bağlanmasını (yani, GABA kapılı klorür kanalının yarışmalı olmayan bloker bölgesini) engelleyen yarışmacı bir inhibitördür ve GABAA reseptörünün tersinir bir modülatörüdür. Timolün ise, tanımlanamayan bir bağlanma bölgesi aracılığıyla GABA reseptörlerinin aktivitesini artırdığı öne sürülmüştür. Silfinenler, GABA'nın böcek nöronları üzerindeki etkilerini antagonize etmektedir (Pavela, 2015).

Uçucu yağlar genellikle karmaşık terpenoid karışımları olup, genel biyoaktivite genellikle bileşenler arasındaki sinerjiye bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Yapılan araştırmalar, biberiye ve limon otu yağlarındaki ana bileşenlerin sinerjistik etkisinin, toksik maddelerin detoksifikasyon enzimlerinin inhibisyonundan ziyade, böceğin kütikulasından artan penetrasyonla ilişkili olduğunu göstermektedir (Isman, 2020).

Lipofilisite, larva öldürücü aktivitenin modülasyonunda önemli bir rol oynamaktadır. Lipofilik bileşiklerin protein deaktivasyonu ve enzim inhibisyonu ile ilişkisi, bu durumu açıklayan makul bir mekanizma olarak öne çıkmaktadır. Bu ilişki, terpenler ve fenilpropanoidler gibi aktif bileşiklere yönelik yapılan bir kemo-metrik çalışmada doğrulanmıştır (Pavela, 2015).

Çift bağlar, doğal moleküllerin larva öldürücü aktivitesinde önemli bir rol oynamaktadır çünkü bu bağların hidrojenlenmesi, bileşiklerin lipofilik özelliklerini azaltarak larva kütikülünden geçişlerini kısıtlamaktadır. Örneğin, ekzosiklik bir çift bağa sahip olan β -pinenin, endosiklik bir çift bağa sahip α -pinene göre daha toksik olduğu gösterilmiştir (Pavela, 2015).

Uçucu yağlar, uzun süredir böcek kovucu, itici ve caydırıcı amaçlarla kullanılmaktadır. İtici etki, bir organizmanın bir uyarandan uzağa doğru hareketini ifade ederken, caydırıcı etki ise kaynaktan belirli bir uzaklaşma olmaksızın, örneğin beslenme veya yumurtlama gibi davranışların engellenmesini ifade etmektedir. Uçucu yağların insektisit aktivitelerine dair yapılan çalışmalar umut verici olsa da, alternatif

bir zararlı kontrol yöntemi olarak kullanılmadan önce uçucu özellikleri, düşük suda çözünürlükleri ve oksidasyon potansiyelleri gibi sorunların çözülmesi gerekmektedir. Ayrıca, zararlı kontrolünü sürdürebilmek için tekrarlanan tarla uygulamalarının gerekmesi durumunda ekonomik faktörlerin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Belirli bir zaman diliminde daha az miktarda pestisit daha etkili bir şekilde kullanımını sağlayan kontrollü salım formulasyonları, etkinlik, uygulama uygunluğu ve çevresel zararın en aza indirilmesi gibi çoklu gereksinimleri karşılamak için en uygun seçenek olarak öne çıkmaktadır (Said-Al Ahl ve diğ., 2017). Kontrollü salım formulasyonları için en çok araştırılan teknolojiler arasında, aktif bileşen yağları ve terpenoidleri kapsülleyen doğal veya sentetik polimerik malzemelere dayalı nanoformülasyonlar yer almaktadır (Mishra ve diğ., 2017; Isman, 2020). Defne yaprağı uçucu yağları, çeşitli itici ve böcek öldürücü mekanizmalara sahip, yapısal olarak farklı kimyasal bileşiklere sahiptir (Chahal ve diğ., 2017; Hanif ve diğ., 2019).

Mediouni-Ben Jemâa ve diğ. (2011) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, defne yaprağı uçucu yağının bileşenleri arasında 1,8-sineol (%24,55), linalool (%17,67), öjenilmetileter (%12,40), izovaleraldehit (%9,65) ve kamfen (%7,21) tespit edilmiştir. Bu çalışmada, 7-10 günlük Sigara böceği *Lasioderma serricornis* (Fabricius) (Col: Anobiidae)'ye karşı uçucu yağın itici etkisi incelenmiştir. İtici etki, uçucu yağın konsantrasyonuna ve maruz kalma süresine bağlı olarak değişmiş, 0,12 µL/cm² konsantrasyonda ve 1 saatlik maruziyet sonucunda %92,5'e ulaşmıştır. Çalışmada ayrıca, ortalama itici doz değeri (RD₅₀) 37,84 µL/cm² olarak belirlenmiştir.

Mediouni-Ben Jemâa ve diğ. (2012) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, Tunus, Cezayir ve Fas'tan elde edilen defne yaprağı uçucu yağlarının kimyasal bileşimleri analiz edilmiş ve bu yağların *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) (Col: Bostrichidae) ve *Tribolium castaneum* (Col: Tenebrionidae)'a karşı insektisit aktiviteleri değerlendirilmiştir. Çalışmada, defne yaprağı uçucu yağlarının kimyasal bileşimlerinde 1,8-sineol, linalool ve izovaleraldehit başlıca bileşikler olarak tanımlanmış, ancak bu yağlar arasında niteliksel değil, niceliksel farklılıklar gözlemlenmiştir. İnsektisit aktivitesi, böcek türüne ve uçucu yağın kaynağına bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Fas'tan elde edilen defne yaprağı uçucu yağı (RD₅₀: 0,013 µL/cm²), Tunus (RD₅₀: 0,036 µL/cm²) ve Cezayir'den elde edilen yağlara (RD₅₀: 0,033 µL/cm²) kıyasla *R. dominica*'ya karşı daha yüksek insektisit aktivite sergilemiştir. Benzer şekilde, Fas'tan elde edilen defne yaprağı uçucu yağı (RD₅₀:

0,045 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$), Tunus (RD₅₀: 0,139 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$) ve Cezayir'den elde edilen yağlara (RD₅₀: 0,096 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$) kıyasla *T. castaneum*'a karşı daha yüksek insektisit aktivite göstermiştir.

Salehi ve diğ. (2014) tarafından yürütülen bir araştırmada, defne yaprağından elde edilen uçucu yağın, *Ephestia kuehniella* Zeller (Lep: Pyralidae) türünün ergin bireyleri üzerinde repellent etkisi değerlendirilmiştir. Çalışmada, 0,5, 1, 1,5 ve 2 $\mu\text{L}/\text{L}$ hava konsantrasyonlarındaki defne yaprağı uçucu yağı, sırasıyla %20,4, %47,3, %66,9 ve %84,2 oranlarında *E. kuehniella* erginlerine karşı uzaklaştırıcı etki göstermiştir. Ayrıca, uçucu yağın konsantrasyonu ve maruz kalma süresi arttıkça, ölüm oranının da arttığı belirtilmiştir.

Fernandez ve diğ. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, 1,8-sineol ve linalool ana bileşenleri yüksek oranda içeren ve farklı dönemlerde (ilkbahar, kış, sonbahar, yaz) elde edilen defne yaprağı uçucu yağlarının *Aedes aegypti* L. (Dip: Culicidae) larvalarına karşı insektisit aktiviteleri incelenmiştir. Çalışma bulgularına göre, ilkbahar döneminde toplanan defne yaprağından elde edilen uçucu yağın *A. aegypti* larvalarına karşı etkinliğinde LC₅₀ değeri 0,41 mg/mL olarak belirlenmişken, kış döneminde toplanan defne yaprağı için bu değer 0,66 mg/mL, sonbahar döneminde toplanan defne yaprağı için 0,60 mg/mL ve yaz döneminde toplanan defne yaprağından elde edilen uçucu yağ için ise 0,91 mg/mL olarak tespit edilmiştir. Bu çalışma, uçucu yağların insektisit aktivitesinde elde edildikleri bitkilerin dönemsel özelliklerinin etkilerini vurgulayarak yeni bir bakış açısı sunmuştur.

Wang ve diğ. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, ergin *T. castaneum* ve *Liposcelis bostrychophila* (Psocoptera: Liposcelididae) karşı insektisit aktivite için defne yaprağı uçucu yağının etkinliği incelenmiştir. Fumigant toksisite çalışmasında, %85,83 oranında monoterpenoid içeriğine sahip olduğu tespit edilen defne yaprağı uçucu yağının LC₅₀ değeri *T. castaneum* için 13,34 mg/L hava, *L. bostrychophila* için ise 1,96 mg/L hava olarak bulunmuştur. Kontakt toksisite çalışmasında ise defne yaprağı uçucu yağının LD₅₀ değeri *T. castaneum* için 17,89 $\mu\text{g}/\text{böcek}$, *L. bostrychophila* için ise 202,95 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ olarak tespit edilmiştir.

Haouel-Hamdi ve diğ. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, 1,8-sineol, α -terpinenil asetat ve linalool gibi ana bileşenleri baskın olarak içeren defne yaprağı uçucu yağının *Tribolium castaneum* erginlerine karşı insektisit aktivitesi araştırılmıştır. Defne

yaprağı uçucu yağının (150 µL/L hava) 30 günlük maruziyeti sonucunda *T. castaneum* erginlerinde %57,14 ölüm oranı elde edilmiştir. Ancak diğer konsantrasyonlarda (75 ve 300 µL/L hava) uygulanan defne yaprağı uçucu yağı ile sırasıyla %38,9 ve %40 ölüm oranları tespit edilmiştir. Çalışmada yapılan probit analizi (Finney yöntemi) ile 30 günlük maruziyetin ardından *T. castaneum* yetişkinleri için LC₅₀: 208,70 µL/L hava ve LC₉₅: 385,88 µL/L hava değerleri elde edilmiştir.

2.2.5 Defne uçucu yağının antimikrobiyal etkisi

Bitkisel kökenli uçucu yağların antibakteriyel etkinliği, büyük ölçüde içeriklerindeki biyolojik olarak aktif bileşiklerin türüne, miktarına ve kimyasal yapısına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bununla birlikte, bu biyolojik aktivite yalnızca kimyasal kompozisyonla sınırlı olmayıp, bitkinin yetiştiği bölgenin ekolojik koşulları, hasat zamanı ve uygulanan ekstraksiyon tekniği gibi çevresel ve teknolojik faktörlerden de önemli derecede etkilenmektedir (Şahan, 2012). Fitoterapinin temelini ise bitkiler tarafından sentezlenen doğal kimyasal bileşikler oluşturmaktadır. Bu bileşikler, insan vücudunda çeşitli fizyolojik değişiklikleri tetikleyerek bazı hastalıkların tedavisinde olumlu etkiler gösterebilmektedir. Uçucu yağlar, bakteri hücre zarında elektron taşınımı, fosforilasyon, protein modifikasyonu, iyon dengesi ve enzim aracılı reaksiyonlar üzerinde etkili olarak antimikrobiyal özellik göstermektedir (Ultee ve diğ, 1999).

Yapılan *in vitro* çalışmalar, uçucu yağların bileşenlerinin rumen metabolizması üzerinde düzenleyici etkilere sahip olduğunu ortaya koymuştur. Rumen ortamında gerçekleşen protein yıkımı; peptidoliz, proteoliz ve deaminasyon gibi çeşitli biyokimyasal süreçleri içeren oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir (Bilal ve diğ, 2008). Ayrıca, uçucu yağların rumende proteolitik aktivite gösteren mikroorganizmalara karşı toksik etki oluşturduğu ve bu durumun proteinlerin rumende daha az oranda parçalanmasına neden olduğu belirtilmiştir (McIntosh ve diğ, 2003). Defne bitkisinin ana etken maddesi olan sineol ise hem gram pozitif hem de gram negatif bakterilere karşı geniş spektrumlu antimikrobiyal aktivite göstermesiyle dikkat çekmektedir. Etkili olduğu mikroorganizmalar *C. botulinum*, *S. typhimurium*, *C. albicans*, *B. cereus*, *L. monosytogenes*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas pyocyaneus*, *Yersinia enterocolitica*, *Aeromonas hydrophila*, *Enterococcus faecalis*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Kluyveromyces fragilis* (Smith-Palmer ve diğ, 2002;

Çabuk ve diğ, 2003; Evren ve Tekgüler, 2011). 1,8 sineol aktivitenin bir parçası olan antimikrobiyal aktiviteye sahiptir (Ouibrahim ve diğ, 2013).

2.3 Enkapsülasyon Teknolojisi ve Özellikleri

Enkapsülasyon, katı, sıvı veya gaz haldeki aktif bileşenlerin uygun taşıyıcı materyallerle kaplanarak kapsüller içinde muhafaza edilmesini sağlayan ve bu sayede bileşenlerin belirli koşullarda ve kontrollü hızlarda salımını mümkün kılan bir teknolojidir (Wang ve diğ, 2009). Bu süreçte kapsüllenen madde “aktif” veya “öz” bileşen, kaplama materyali ise “kabuk”, “taşıyıcı” ya da “enkapsülant” olarak adlandırılır (Luo ve diğ, 2011). Enkapsülasyon iki temel prensibe dayanır: Aktif bileşenin bir polimer çözeltisinde dağılması ve ardından jelasyon, kurutma, soğutma gibi yöntemlerle katılaştırılması ya da katı tozların akışkan yatakta kaplama çözeltisiyle kaplanarak kurutulması. Uygulanan teknikler fiziksel (püskürtmeli kurutma, ekstrüzyon, akışkan yataklı kaplama), fizikokimyasal (koaservasyon, lipozom içine hapsedme) ve kimyasal (arayüz polimerizasyonu, moleküler inklüzyon) olmak üzere üç gruba ayrılır. Enkapsülasyon sayesinde fonksiyonel kayıplar, bileşenler arası uyumsuzluklar, istenmeyen aroma veya koku oluşumu gibi olumsuzluklar azaltılabilirken; nem kontrolü, oksidasyona karşı koruma, ardışık salım ve biyoyararlılığın artırılması gibi önemli avantajlar elde edilmektedir (Zuidam ve Shimoni, 2010; Acosta, 2009; Fang ve Bhandar, 2010).

2.3.1 Enkapsüle edilen bileşenler (aktif maddeler)

Enkapsülasyon teknolojisi, biyolojik olarak aktif bileşenlerin stabilitesini artırmak ve biyoaktivitesini korumak amacıyla yaygın biçimde kullanılan sofistike bir yöntemdir. Bu teknoloji sayesinde, çeşitli aktif maddeler uygun taşıyıcı sistemler içerisinde mikro- veya nano-kapsüller halinde muhafaza edilerek çevresel stres faktörlerine karşı etkin bir koruma sağlanmaktadır. Enkapsülasyon uygulamalarında en sık karşılaşılan aktif bileşen sınıfları; vitaminler ve mineraller, enzimler ve proteinler, organik asitler, probiyotikler ve prebiyotikler, uçucu yağlar, tatlandırıcılar, koruyucular, renklendiriciler ve aroma vericiler, esansiyel yağ asitleri (örneğin ω -3 ve konjuge linoleik asit), karotenoidler (β -karoten, likopen) ile antioksidanlar (tokoferoller, flavonoidler, polifenoller) olarak sınıflandırılmaktadır. Bu kapsülleme işlemi, sadece

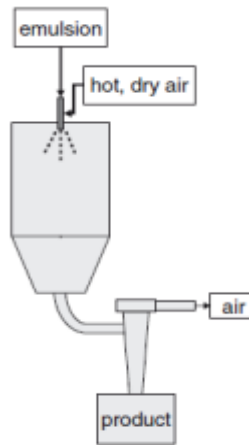
ürünün raf ömrünü uzatmakla kalmayıp, aynı zamanda kontrollü salım kinetiklerinin sağlanması ve biyolojik fonksiyonların optimize edilmesine olanak tanımaktadır.

2.3.2 Enkapsülasyon yöntemleri

2.3.2.1 Püskürtmeli kurutma

Püskürtmeli kurutma, enkapsülasyon teknolojisinde kullanılan en eski ve en yaygın yöntemlerden biridir. Bu yöntemin ekonomik oluşu, kullanım kolaylığı, sürekli üretime elverişli yapısı ve işlem sonucunda yüksek kalitede partiküllerin elde edilmesi gibi avantajları, özellikle gıda endüstrisinde yaygın olarak tercih edilmesini sağlamaktadır. Bu yöntemde taşıyıcı materyal olarak genellikle nişasta, maltodekstrin ve çeşitli gıamlar kullanılmaktadır (Fang ve Bhandari, 2010). Ayrıca aljinat, karboksimetil selüloz (CMC), guar gam ve kitosan gibi polisakkaritler ile sodyum kazeinat, peynir altı suyu proteini ve soya proteini gibi protein bazlı bileşikler de kaplama materyali olarak kullanılabilir. Ancak, bu bileşiklerin su içerisinde düşük çözünürlüğe sahip olmaları ve görece yüksek maliyetleri, püskürtmeli kurutma yöntemi açısından önemli dezavantajlar oluşturmaktadır (Gouin, 2004).

Püskürtmeli kurutma süreci, aktif bileşenin uygun taşıyıcı sistemle homojenize edilmesiyle başlar. Elde edilen karışım, atomize edici döner başlığa sahip püskürtmeli kurutucuya aktarılır. Sıcak hava ile temas eden ince damlacıklar içerisindeki su hızla buharlaşırken, kapsül formundaki kurutulmuş partiküller elde edilir. Şekil 2.3'te tipik bir püskürtmeli kurutma sistemi şematik olarak gösterimini sunmaktadır.



Şekil 2.3: Püskürtmeli kurutma sistemi (Zuidam ve Shimoni, 2010).

Püskürtmeli kurutma yöntemiyle üretilen mikrokapsüllerin boyutları genellikle 10 ile 100 mikrometre arasında değişmektedir. Ancak, bu yöntemin bazı sınırlamaları bulunmaktadır; özellikle, suda çözünebilen kaplama malzemesi çeşitliliğinin kısıtlı olması ve ısıya duyarlı biyoaktif bileşenlerin yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında yapısal bozulma riskinin bulunması, uygulama alanlarını sınırlayan temel etmenler arasında yer almaktadır (Fang ve Bhandari, 2010).

Püskürtmeli kurutma işlemi, aktif bileşen içeren çözelti veya dispersiyonun atomizasyonu sonrasında, sıcak veya soğuk hava akımı ile temas ettirilmesi suretiyle damlacıklardaki sıvı fazın buharlaştırılması ve geride kuru partiküllerin kalması esasına dayanır. Elde edilen partiküller genellikle küresel formda olup, yüzey morfolojisi ve topolojik özellikleri kullanılan polimerin yapısına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Ayrıca, kapsüllerin taşıma kapasitesi ve salım profilleri, polimerin tipi ve zincir uzunluğu değiştirilerek optimize edilebilmektedir (Gonnet ve diğ., 2010). Isıya duyarlı bileşenler (örneğin, uçucu yağlar) açısından bu yöntemin uygun olmadığına dair çeşitli görüşler bulunmakla birlikte, püskürtmeli kurutma sisteminde damlacıkların sıcak hava ile temas süresinin son derece kısa olması, bu tür ısıl bozunmaları minimize edebilmektedir (Vidhyalashmi ve diğ., 2009).

Atomize edilen damlacıkların büyüklüğü; sıvı fazın yüzey gerilimi ve viskozitesi, püskürtme başlığındaki basınç farkı ve püskürtme hızı gibi parametrelerden etkilenmektedir. Taşıyıcı materyalin seçiminde ise bazı kritik özellikler göz önünde bulundurulmalıdır: aktif bileşeni etkin şekilde koruyabilme kapasitesi, yüksek suda çözünürlük, uygun moleküler ağırlık, camsı geçiş sıcaklığı, kristalin yapı, difüzyon yeteneği, film ve emülsiyon oluşturma kabiliyeti ile ekonomik olması gibi nitelikler taşıyıcı materyalin etkinliğini belirleyen başlıca unsurlardır (Zuidam ve Shimoni, 2010).

2.3.2.2 Koaservasyon

Koaservasyon, başlangıçta bir veya birden fazla hidrokolloidin bulunduğu çözeltide meydana gelen faz ayrışması sonucu oluşan koaservat fazın, aynı ortamda süspanse ya da emülsifiye edilmiş aktif maddelerin çevresinde toplanması esasına dayanan bir kapsülleme yöntemidir. Basit koaservasyon uygulamalarında genellikle tek bir polimer (örneğin jelatin) kullanılırken, kompleks koaservasyonda ise zıt elektrik yüklerine sahip iki veya daha fazla polimerin (örneğin jelatin ile gam arabik) birlikte

kullanımı söz konusudur (Fang ve Bhandari, 2010). Kompleks koaservasyon uygulamalarında, geleneksel olarak tercih edilen gam arabik yerine negatif yüklü polielektrolitler olan karboksimetil selüloz, pektin, karragenan, aljinat ve polifosfat gibi bileşenler alternatif olarak kullanılabilir. Benzer şekilde, jelatin yerine ise süt proteinleri gibi farklı protein kaynakları tercih edilebilir (Zuidam ve Shimoni, 2010).

Koaservasyon yöntemi, üretim maliyeti yüksek olmasına rağmen, polifenoller gibi ısıya ve çevresel koşullara duyarlı, ancak biyoaktif değeri yüksek bileşiklerin enkapsülasyonu için oldukça elverişli bir tekniktir (Fang ve Bhandari, 2010).

Bu yöntem, özellikle aroma yağlarının enkapsülasyonunda yaygın olarak tercih edilmekle birlikte, balık yağı, vitaminler, koruyucular ve enzimler gibi çeşitli biyoaktif bileşenlerin kapsüllenmesinde de etkin bir şekilde uygulanabilir.

Diğer enkapsülasyon tekniklerine kıyasla bazı avantajlar sunsa da, koaservasyonun ticarileştirilmesi pahalı ve karmaşık proses gereksinimleri nedeniyle sınırlıdır. Ayrıca, kapsül kabuğunun sertleştirilmesi için sıklıkla kullanılan glutaraldehitin bazı ülkelerde kullanımının yasal olarak kısıtlanmış olması da bu yöntemin uygulamasında önemli bir engel teşkil etmektedir (Gouin, 2004).

Kompleks koaservasyon prosesi genellikle jelatin ve gam arabik içeren bir yağ/su emülsiyonunun hazırlanmasıyla başlar. %2–4 oranındaki her iki polimer karıştırılarak >35 °C sıcaklıkta hazırlanan sistemde pH'ın 7'den 4'e ayarlanmasıyla polimerlerin sulu fazda çözünürlüğü sağlanır. Bu işlem sonucunda, birbirinden ayrılmış üç fazdan oluşan bir sistem (yağ fazı, polimerce zengin koaservat fazı ve polimerce fakir süpernatant faz) elde edilir. Alternatif olarak, koaservasyon dilüsyon yöntemiyle de gerçekleştirilebilir. Bu yöntemde yağ, jelatin çözeltisinde emülsifiye edilir ve ardından sisteme gam arabik ilave edilerek karışım su ile seyreltilir. Daha sonra sıcaklık düşürülerek jelatin sertleşir ve kapsül kabuğu oluşur (Gonnet ve diğ., 2010).

Koaservasyon yönteminin başarısını etkileyen temel parametreler; polimer yoğunluğu, pH düzeyi, sistemdeki akışkanlık durumu, emülsiyon içindeki partikül çapı, iyonik ortamın kuvveti ve sıcaklık olarak sıralanabilir (Zuidam ve Shimoni, 2010). Bu teknikle gerçekleştirilen enkapsülasyonun verim oranı yaklaşık %60 olup, meydana gelen kapsüllerin çapı 30 ila 100 nanometre arasında değişmektedir (Acosta, 2009).

2.3.2.3 Emülsiyon oluşturma

Emülsiyonlar, birbirleriyle karışmayan iki fazın (genellikle yağ ve su) sıvılarından birinin diğer faz içerisinde çok küçük damlacıklar şeklinde dağıtılmasıyla kinetik olarak stabil bir sistem oluşturmak amacıyla hazırlanır. Bu süreçte, yüksek hızlı karıştırıcılar ve homojenizatörler gibi ekipmanlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Suda çözünebilen aktif bileşenler, su/yağ emülsiyonları veya su/yağ/su çift emülsiyon sistemleri aracılığıyla kapsüllenebilir. Yağ/su emülsiyonlarında, sulu fazın hacmindeki değişiklikler tat bileşiklerinin sudaki konsantrasyonunu etkileyerek tat profilinde farklılıklar yaratabilir. Yağda çözünebilen bileşikler, örneğin likopen, beta-karoten, steroller ve yağda eriyen vitaminler, yağ/su emülsiyonları içerisinde kapsüllenebildiği gibi, püskürtmeli kurutma veya dondurarak kurutma teknikleriyle toz formuna dönüştürülerek gıda ürünlerine dahil edilebilir. Ayrıca emülsiyon oluşturma, ekstrüzyon ve koaservasyon gibi diğer enkapsülasyon tekniklerinin tamamlayıcı aşaması olarak da işlev görmektedir (Zuidam ve Shimoni, 2010).

Emülsiyonlarda oluşan damlacıkların çapları genellikle 0,1 ile 100 mikrometre arasında değişmektedir. Eğer yağ damlacıkları sulu faz içerisinde dağılmışsa, bu tür sistemler yağ içinde su (yağ/su) emülsiyonu olarak tanımlanır; tersine, su damlacıkları yağ fazı içinde dağılmışsa, bu sistemler su içinde yağ (su/yağ) emülsiyonu olarak adlandırılır. Ayrıca, birden fazla tabakaya sahip çok katmanlı emülsiyonlar da üretilmektedir. Emülsiyonların kararlılığını artırmak amacıyla çeşitli emülgatörlerin kullanımı yaygın bir uygulamadır (Fang ve Bhandari, 2010).

Emülsiyonların stabilitesinin korunmasında, başlangıçtaki damlacık konsantrasyonu ve boyut dağılımı belirleyici faktörler arasında yer almaktadır. Bu parametreler, kullanılan emülgatörün türüne bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Emülgatör seçimi, yüzey yükü, kalınlık, reolojik özellikler ve çevresel etkenler (pH, iyonik güç, sıcaklık, enzim aktivitesi gibi) doğrultusunda arayüzey özelliklerinin kontrolünde kritik bir rol oynamaktadır. Klasik emülsiyonların damlacık çapı genellikle 100 nm ile 100 µm arasında değişirken, nanoemülsiyonlar bu aralığın 10 nm ile 100 nm kısmında konumlanmaktadır. Nanoemülsiyonlar, klasik emülsiyonlara kıyasla daha yüksek stabilite göstermekte olup, görsel olarak daha şeffaf ve berraktır. Ayrıca, aktif bileşenlerin salım hızları nanoemülsiyonlarda daha hızlı gerçekleşmekte ve geniş yüzey alanına bağlı olarak kimyasal reaksiyonlara girme oranları da artmaktadır. Bu

nedenlerle, nanoemülsiyonların biyoyararlanımının daha yüksek olduğu bildirilmektedir (McClements ve Li, 2010).

2.3.2.4 Dondurarak kurutma

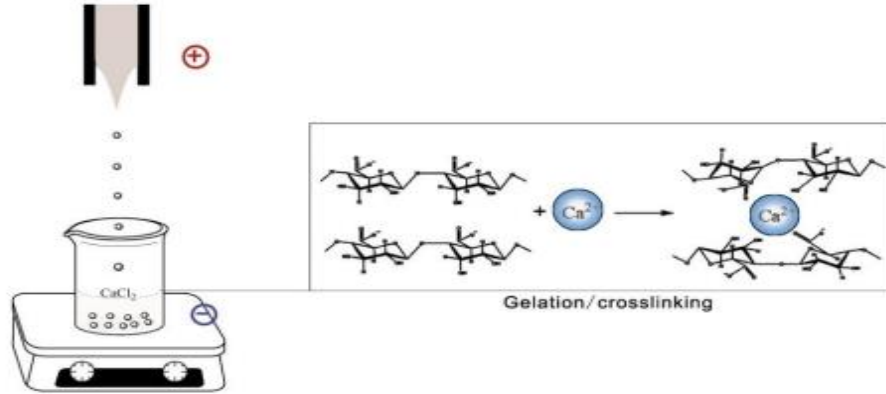
Dondurarak kurutma, liyofilizasyon olarak da adlandırılan ve özellikle ısıya duyarlı bileşenler ile aromatik maddelerin dehidrasyonunda yaygın şekilde kullanılan bir yöntemdir. Bu süreçte numune, genellikle -90 °C ile -40 °C arasındaki düşük sıcaklıklara dondurulduktan sonra, düşük basınç altında süblimleşme mekanizması aracılığıyla kurutulur. Dondurarak kurutma işlemi sırasında, etken madde ve taşıyıcı materyalin suda çözünmesi sağlanır ve sonrasında dondurularak kurutulmuş, gözenekli yapıya sahip bir ürün elde edilir. Bu ürünler, genellikle yüksek yüzey alanına sahip olup, suda çözünebilir bileşenlerin etkin bir şekilde korunmasına olanak tanır. Ancak, dondurarak kurutma yönteminin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bu yöntemin dezavantajları arasında yüksek enerji gereksinimi, uzun işlem süreleri ve göreceli olarak yüksek maliyet bulunmakta olup, püskürtmeli kurutma yöntemine kıyasla yaklaşık 30 ila 50 kat daha maliyetlidir. Ayrıca, dondurularak kurutulan ürünler genellikle açık delikli yapıya sahip olup, bu da düşük bariyer özellikleriyle sonuçlanabilir (Zuidam ve Shimoni, 2010).

Bununla birlikte, dondurarak kurutma yöntemi, suda çözünebilir bileşenlerin, doğal aromaların ve ilaçların kapsüllenmesinde, basit ve etkili bir teknik olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, ısıya duyarlı biyoaktif maddelerin korunması açısından sağladığı avantajlar nedeniyle tercih edilmektedir (Fang ve Bhandari, 2010).

2.3.2.5 Damlatma (iyonik jelasyon)

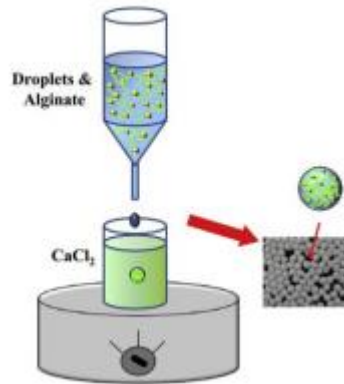
Damlatma ya da iyonik jelasyon yöntemi, kullanım kolaylığı ve ekonomik oluşu nedeniyle yaygın olmakla birlikte, genellikle büyük ölçekli üretimler için elverişli değildir. Bu nedenle, daha çok laboratuvar düzeyindeki uygulamalarda tercih edilmektedir. Söz konusu yöntemde, polimer çözeltisi ile aktif madde homojenize edildikten sonra, bir enjektör vasıtasıyla dispersif faza (örneğin CaCl_2 çözeltisine) damlatılır. Bu işlem sonucunda, küresel yapıya sahip jel parçacıkları oluşmaktadır. Damlatma yöntemi, özellikle kalsiyum-aljinat taneciklerinin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yöntem, çapraz bağlanma reaksiyonuna dayanır; burada, CaCl_2 molekülündeki kalsiyum iyonları ile sodyum aljinat molekülündeki sodyum iyonları arasındaki etkileşim, jel yapısının oluşmasına yol açar. Şekil 2.4'te, kalsiyum ile

sodyum iyonları arasında gerçekleşen çapraz bağlanma mekanizmasını görsel olarak ortaya koymaktadır.



Şekil 2.4: Jelasyon/kalsiyum-aljinat çapraz bağlanma mekanizması (Shi ve diğ, 2011).

Biyopolimer çözeltisinin başka bir çözeltiye damlatılması sonucu jelasyon işlemi gözlemlenir. Aljinat çözeltisinin kalsiyum çözeltisine damlatılması sonucu iyonik jelasyon süreci gerçekleşirken, pektin çözeltisinin kalsiyum çözeltisine damlatılması da benzer şekilde iyonik jelasyon yöntemi kapsamında değerlendirilir. Bunun yanı sıra, kitosan çözeltisinin tripolifosfat çözeltisine damlatılması yoluyla iyonik jelasyon, peynir altı suyu proteinlerinin sıcak sıvıya damlatılmasıyla sıcak jelasyon ve jelatin çözeltisinin soğuk sıvıya damlatılmasıyla soğuk jelasyon gibi farklı jelasyon teknikleri kullanılarak mikrotanecik üretimi mümkün olmaktadır (Matalanis ve diğ, 2011). Damlatma sistemine ait görsel Şekil 2.5'te gösterilmektedir.



Şekil 2.5: Damlatma sistemi (McClements ve Li, 2010).

Bu yöntem, laboratuvar ölçeğinde üretiminin kolaylığı ve hidrofilik ya da hidrofobik, ısıya duyarlı, akışkan veya viskoz, katı ya da sıvı yapıda olan çok çeşitli bileşenlerin kapsüllenebilme özelliği nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir. Ancak, küçük

ölçekli kapsül üretimi kolay gerçekleşmesine karşın, bu yöntemin endüstriyel ölçekte uygulanması hem teknik açıdan zordur hem de maliyet açısından dezavantajlıdır. Ayrıca, elde edilen kapsüller yüksek gözenekliliğe sahip olup, aljinat matriksinden su veya diğer sıvıların giriş-çıkışı yoluyla difüzyona açık bir yapıya sahiptir (Gouin, 2004).

Aljinatın negatif yüke sahip polimer yapısı ile kitosanın zıt elektriksel yük taşıyan polimeri arasındaki elektrostatik etkileşimler sonucunda, kapsül yüzeyinde yarı geçirgen bir membran meydana gelmektedir. Bu membran, yüzey pürüzlülüğünü minimize etmekle kalmayıp, aynı zamanda suda çözünebilen moleküllerin geçişini sınırlandırarak kontrollü difüzyon mekanizmasına olanak tanıyan fizikokimyasal bir bariyer fonksiyonu üstlenmektedir (Nuallakul ve diğ, 2012). Son yıllarda geliştirilen şırınga-ekstrüzyon sistemi, hava jeti, elektriksel potansiyel ve titreşimli ünitelerle aljinat akışını sağlayarak yüksek miktarda aljinat tanecikleri üretilmesine olanak tanımaktadır. Bu sayede, enkapsüle gıda bileşenleri içeren aljinat taneciklerinin ticarileştirilmesi mümkün olabileceği ifade edilmiştir (Gouin, 2004).

Kalsiyum-aljinat partiküllerinin üretiminde kullanılan aljinat konsantrasyonu genellikle %0,6 ile %3 arasında değişirken, kalsiyum klorür çözeltisi 0,05 ile 1,5 M aralığında tercih edilmektedir. Üretilen kapsüllerin boyutu ise; şırınga çapı, titreşim sistemi, aljinat çözeltisinin viskozitesi ve kalsiyum klorür çözeltisi ile şırınga arasındaki mesafe gibi faktörlere bağlı olarak farklılık göstermektedir (Nuallakul ve diğ, 2012).

Kalsiyum iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak jelasyonun dayanıklılığı değişiklik göstermektedir. Düşük kalsiyum seviyelerinde polimer zincirleri arasındaki bağlanma geçici olurken, yüksek kalsiyum konsantrasyonlarında ise ağ yapıları kalıcı hale gelmekte ve bunun sonucunda jel oluşumu veya çökme gözlemlenmektedir. Aljinatın kimyasal yapısı, moleküler ağırlığı, jel oluşturma kinetiği ve katyonların neden olduğu gözeneklilik gibi parametreler, polimer matrisinin şişme özellikleri, mekanik stabilitesi, biyobozunurluğu ve biyoyuymumluluğu üzerinde belirleyici rol oynamaktadır (George ve Abraham, 2006).

Aljinatın tek başına kullanımı, düşük moleküler ağırlığa sahip ve suda yüksek çözünürlüğe sahip ilaçların enkapsülasyonunda sınırlı tutma kapasitesi göstermektedir. Bu bağlamda, aljinatın kitosan gibi diğer polimerlerle kaplanması,

biyolojik ortamlar içerisindeki stabilitenin artırılmasına yönelik etkili bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir. Kitosanın katyonik âmin grupları ile aljinatın anyonik karboksil grupları arasında meydana gelen elektrostatik etkileşimler, iyonik jelasyon mekanizması yoluyla aljinat-kitosan komplekslerinin oluşumunu sağlamaktadır. Bu kompleks yapılar, kapsül yapıların mekanik dayanıklılığını ve biyoyumluluğunu iyileştirirken, aynı zamanda kontrollü salım kinetiklerinin geliştirilmesine de katkı sağlamaktadır (Gazori ve diğ, 2009).

Aljinat-kitosan kompleksleri, kapsül içerisindeki biyolojik aktif maddelerin korunmasını sağlamakta ve kontrollü salımını mümkün kılmaktadır. Bu sistemler, aljinat veya kitosanın tek başına kullanıldığı yapılarla karşılaştırıldığında, daha üstün koruma ve salım kontrolü performansı göstermektedir. Söz konusu kaplı partiküller, ilaç molekülleri, oligonükleotidler, proteinler ve hücreler gibi çeşitli biyolojik materyallerin etkin bir şekilde enkapsülasyonu için yaygın olarak kullanılmaktadır (Gazori ve diğ, 2009).

2.3.3 Enkapsülasyonda kullanılan kaplama materyalleri

Taşıyıcı sistem, belirli özelliklere sahip olmalıdır. İlk olarak, istenilen miktardaki fonksiyonel ajanı etkili bir şekilde enkapsüle edebilme ve güvenli bir şekilde hapsedebilme kapasitesine sahip olmalıdır. Bunun yanı sıra, fonksiyonel ajanın kimyasal bozulmalara karşı korunarak aktif kalabilmesini sağlamalıdır. Ayrıca, taşıyıcı sistem fonksiyonel ajanın salımını kontrol edebilmeli ve bu süreçte ajanın etkinliğini sürdürebilmelidir. Taşıyıcı sistem, çevreleyen gıda veya içecek matrisiyle uyumlu olmalı, bunun sonucunda ürünün görünümü, reolojisi, tadı ve raf ömrü üzerinde olumsuz etkiler oluşturulmamalıdır.

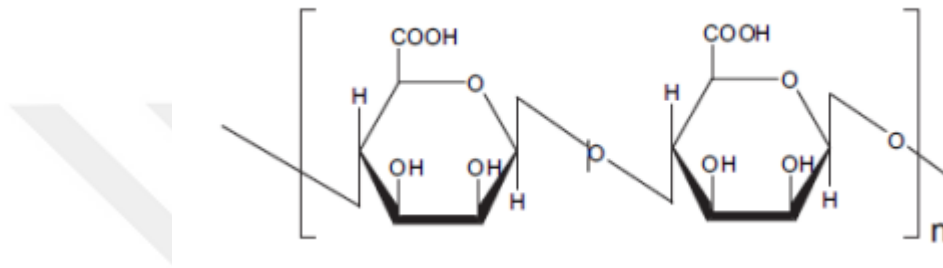
Sistem, üretim, depolama, taşıma ve işleme aşamalarında karşılaşılabilecek çevresel etkilere karşı dayanıklı olmalıdır. Ayrıca, genel olarak güvenli kabul edilen (GRAS) bileşenler ve düşük maliyetli üretim yöntemleri ile hazırlanmalıdır. Son olarak, enkapsüle materyalin biyoyararlılığını olumsuz yönde etkileyen bir etkiye neden olmamalıdır (McClements, 2009).

2.3.3.1 Aljinat

Aljinat, enkapsülasyon uygulamalarında yaygın olarak kullanılan polisakkaritlerden biridir ve genellikle *Laminaria hyperborea*, *Ascophyllum nodosum* ve *Macrocystis*

*pyrifer*a gibi kahverengi yosunlardan elde edilir. Ticari aljinatlar, çoğunlukla Mg^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} ve Na^{+} katyonlarının tuzları olarak bulunur (George ve Abraham, 2006).

Sodyum aljinat, α -L-guluronik asit ve β -D-mannuronik asit içeren lineer, doğal bir polisakkarit olup suda çözünebilen aljinik asit tuzudur (Wong ve diğ, 2002). Sodyum aljinat, sulu ortamlarda Ca^{2+} , Zn^{2+} , Sr^{2+} ve Ba^{2+} gibi iki iyonlu katyonların varlığında jel ve jel kürecikleri oluşturma kapasitesine sahiptir (George ve Abraham, 2006; Gong ve diğ, 2011; Wong ve diğ, 2002). Aljinat molekülünün kimyasal yapısı Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6: Aljinatın yapısı (Vos ve diğ, 2010).

Aljinatın fiziksel özellikleri, kimyasal kompozisyonu, moleküler ağırlığı ve polimer zincir uzunluğuna bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (George ve Abraham, 2006). Gıda sektöründe aljinat, yüksek jel oluşturma kapasitesinin yanı sıra kıvam artırıcı, emülgatör ve stabilizatör işlevleriyle yaygın şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca, Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından GRAS statüsünde onaylanmıştır. Aljinatın içerdiği guluronik asit ve mannuronik asit monomerlerinin oranı (G/M oranı), farklı türler arasında değişiklik gösterir ve bu oran, aljinatın mekanik stabilitesi üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır (Vos ve diğ, 2010). G-blokları, buruşuk bir yapı sergilerken, M-blokları geniş şerit formundadır. İki G-blok bölgesi yan yana geldiğinde, kalsiyum iyonlarının bağlanabileceği boyutta ve yapıda kristal bir delik oluşur (George ve Abraham, 2006).

Kalsiyum aljinat partikülleri, biyoaktif bileşenlerin, ilaçların, proteinlerin ve enzimlerin kontrollü salımı için sıklıkla tercih edilen taşıyıcı sistemlerdir. Aljinat içerisindeki guluronik asidin, sodyum iyonlarının yerini kalsiyum gibi çift yüklü katyonların almasıyla çapraz bağlanma gerçekleşmekte ve bu süreç, (yumurta kutusu) (egg-box) yapısına sahip kalsiyum aljinat jellerinin oluşumuna zemin hazırlamaktadır. Bu aljinat matriksi, düşük pH değerlerine sahip ortamlarda yüksek stabilite

gösterirken, gastrik ortamda kısmi dayanıklılık sergiler ve ince bağırsak gibi daha yüksek pH seviyelerine sahip bölgelerde şişerek yapıdan ayrılmaktadır (Yoo ve diğ, 2006).

2.3.3.2 Kitosan

Kitosan, doğal olarak meydana gelen, lineer yapılı ve katyonik özellik taşıyan bir polisakkarittir. Bu biyopolimer, kabuklu deniz canlılarının kabukları, böcek kütikülleri ve bazı mantar türlerinin hücre duvarlarında bol miktarda bulunan kitinin kontrollü deasetilasyonu yoluyla elde edilmektedir. Kitosanın kimyasal yapısı, N-asetil-D-glukozamin ile β -(1,4)-bağlantılı D-glukozamin birimlerinin rastgele dağılımı ile karakterizedir. Bu özgün yapısı, kitosana yüksek biyo-uyumluluk, biyobozunurluk, toksik olmayan doğası ve film oluşturma kapasitesi gibi birçok fonksiyonel özellik kazandırmakta ve özellikle biyomedikal, farmasötik, gıda ve çevre teknolojileri gibi alanlarda yaygın uygulama potansiyeli sunmaktadır (Luo ve diğ, 2011).

Aljinat ile birlikte, biyoyumluluk, düşük toksisite ve biyobozunurluk gibi özellikleri sayesinde kitosan, gıda uygulamaları ve ilaç taşıyıcı sistemlerinde en yaygın kullanılan kaplama malzemelerinden biri olarak kabul edilmektedir (Abreu ve diğ, 2008; Lee ve diğ, 2012). Kitosanın biyolojik özelliklerinin, biyobozunurluğunun ve biyolojik rolünün belirlenmesinde, N-asetil-D-glikozamin ile D-glikozamin oranları önemli bir gösterge teşkil etmektedir (George ve Abraham, 2006). Kitosan, katyonik yapısı nedeniyle, kolesterol düşürücü ve zayıflatıcı formülasyonlarda yağ bağlayıcı olarak da kullanılmaktadır (George ve Abraham, 2006).

Kitosan, asidik pH koşullarında çözünürlüğe sahip olan, ancak yüksek pH seviyelerinde yapısal stabilitesini koruyabilen bir biyopolimerdir. Bu madde, pH'ya duyarlı şişme ve genişleme davranışı sergilemekte olup, düşük pH ortamlarında âmin gruplarının protonlanmasıyla aktive olan bir mekanizma üzerinden işlev gösterir. Protonasyon süreci, polimer zincirleri arasındaki elektrostatik itmelerin artmasına, protonların difüzyonuna ve zıt yüklü iyonların su molekülleri eşliğinde jel matrisi içerisine nüfuz etmesine neden olur. Bu etkileşimler, kitosanın ikincil yapısında bozulmalara yol açarak yapısal değişimlere neden olabilmektedir (George ve Abraham, 2006).

2.3.3.3 Karagenan

κ -Karagenanlar, α -(1,3) ve β -(1,4) glikozidik bağlarla birbirine bağlanmış, tekrarlayan D-galaktoz ve 3,6-anhidrogalaktoz (3,6 AG) birimlerinden oluşan, hem sülfatlanmış hem de sülfatlanmamış α -(1,3) ve β -(1,4) polisakkaritlerdir. Bu polisakkaritler, jelleşme özellikleri nedeniyle sıcaklık, iyonik güç ve biyopolimer konsantrasyonuna bağlı olarak koil formdan heliks forma geçiş yapabilmektedir. Ayrıca, κ -karagenanlar, bazı süt proteinleriyle, özellikle kazein miselleriyle kompleks oluşturma yeteneğine sahip olup, bu etkileşimler önemli biyolojik ve fonksiyonel özellikler kazandırmaktadır (Perrechil ve diğ, 2011).

Probiyotik mikroorganizmaların enkapsülasyonunda, genellikle 40-50 °C sıcaklık aralığında hücreler uygun bir polimer çözeltisine ilave edilir. Bu işlem sonrasında karışım kontrollü bir şekilde oda sıcaklığına kadar soğutulularak jelasyon süreci başlatılır. Bu yöntem, hücrelerin yapısal bütünlüğünü koruyarak kapsülleme verimliliğini artırmayı amaçlamaktadır (Burgain ve diğ, 2011).

2.3.3.4 Pektin

Pektin, bitkisel kaynaklı lineer bir polisakkarit olup, yapısında α -(1-4) glikozidik bağlarıyla bağlanmış D-galakturonik asit ve 1,2-bağlantılı L-ramnoz birimlerini içermektedir. Bu biyopolimerin esterifikasyon derecesi, yapısındaki karboksil gruplarının esterleşme yüzdesine bağlı olarak tanımlanır. Esterifikasyon oranı %50'nin altında olan düşük metoksilli pektinler, özellikle kalsiyum iyonları ile çapraz bağlar oluşturarak jel yapısı meydana getirebilme yeteneğine sahiptir (Sriamornsak, 1999). Pektinin mide ve ince bağırsakta sindirime karşı direnç göstermesi, onu hedefe yönelik taşıyıcı sistemler açısından elverişli bir aday haline getirmektedir. Ancak, yüksek su çözünürlüğü nedeniyle doğal haliyle kullanımında sınırlılıklar söz konusudur. Bu nedenle, genellikle kitosan gibi katyonik polimerlerle veya uygun iyonlarla birleştirilerek, kontrollü çözünme ve daha yavaş bozunma özellikleri kazandırılmaktadır (Vos ve diğ, 2010).

2.3.3.5 Nişasta

Nişasta, düşük maliyeti, kullanım kolaylığı, biyobozunurluk ve biyoyumluluk özellikleri ile geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılan, birçok glikoz molekülünün glikozidik bağlarla birleşerek oluşturduğu bir polisakkarittir. Nişasta, amiloz ve

amilopektin olmak üzere iki bileşenden oluşur. Amiloz, α -(1-4) glikozidik bağlarla birbirine bağlı D-glikopiranoz birimlerinden oluşan lineer bir moleküldür ve pankreatik amilaz enzimine karşı dirençlidir, ancak kolondaki enzimler tarafından parçalanabilmektedir (Vos ve diğ, 2010). Amilopektin ise 1-4 ve 1-6 glikozidik bağlarla bağlanan dallanmış glikoz molekülünden oluşur.

Doğal nişasta, biyoaktif maddelerin hızlı salımına yol açtığından, kontrollü salım için ideal bir taşıyıcı materyal olarak değerlendirilememektedir. Bununla birlikte, modifiye nişasta kontrollü salım uygulamalarında etkin bir şekilde kullanılabilir (Wang ve diğ, 2011). Nişastanın dirençli hale getirilmesi ise eterifikasyon, esterifikasyon veya asidifikasyon gibi kimyasal modifikasyon işlemleri aracılığıyla gerçekleştirilebilmektedir (Vos ve diğ, 2010).

Dirençli nişasta, pankreatik enzimlerle ince bağırsakta parçalanamayan ve dolayısıyla sindirilemeyen bir formdadır. Bu tür nişasta kolona ulaşarak burada fermente olur (Burgain ve diğ, 2011). Dirençli nişasta, probiyotiklerin kolona ulaşmasını hedefleyen taşıyıcı sistemlerde kullanılmaktadır (Vos ve diğ, 2010). Ayrıca, uygun modifikasyonlarla kolon kanserinin önlenmesinde, kolesterol seviyelerinin düşürülmesinde ve kalp-damar hastalıklarının azaltılmasında etkili olabilmektedir (Wang ve diğ, 2011).

Nişasta türevleri, biyoaktif bileşenlerin kontrollü salımını sağlamak amacıyla kullanıldığında, üst gastrointestinal sistemde sindirime uğramayacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu kapsamda, asidik ortam ve sindirim enzimlerine karşı dirençli bir yapıda olmaları, yalnızca kalın bağırsakta mikrobiyal fermentasyona uğrayarak parçalanmaları hedeflenir. Böylece, istenilen bileşenin kolona spesifik salımı mümkün hale getirilmiş olmaktadır (Wang ve diğ, 2011).

2.3.3.6 Gamlar

Enkapsülasyon teknolojilerinde çeşitli doğal kökenli kaplama ajanları tercih edilmekte olup, bunlar arasında guar zımkı, gellan zımkı, akasya zımkı ve jelatin gibi biyopolimerler öne çıkmaktadır. Jelatin, amfoterik özellik gösteren bir protein yapısında olup, özellikle anyonik karakterdeki polisakkaritlerle, örneğin gellan zımkı ile elektrostatik etkileşimler kurabilmektedir. Jelatinin izoelektrik noktasının altındaki pH koşullarında net yüzey yükü pozitif olduğundan, negatif yüke sahip gellan zımkı ile güçlü kompleks yapılar oluşturabilmektedir (Burgain ve diğ, 2011).

Jelatin hem asidik hem de bazik peptitlerin enkapsülasyonunda kullanılabilen bir malzeme olup, koazervasyon ve emülsiyon gibi yöntemlerle de uygulanabilir (Yadav ve diğ, 2010).

2.3.3.7 Bal mumu

Bal mumu, doğal yapısı ve özgün fiziksel özellikleri nedeniyle mikrokapsülleme teknolojisinde yaygın olarak kullanılan bir kaplama malzemesidir. Enkapsülasyon, aktif bileşenlerin (örneğin aroma, vitamin veya ilaç) çevresini kaplama maddesiyle sararak korunmalarını sağlar (Varhan ve diğ, 2018).

Bal mumu, bu süreçte aktif bileşenleri dış etkenlerden korur, kontrollü salımlarını mümkün kılar ve ürünün stabilitesini artırır. Kimyasal olarak bal mumu esterleri, yağ asitleri, alifatik hidrokarbonlar ve organik bileşiklerden oluşan karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu bileşim, bal mumuna düşük erime noktası, suya karşı direnç ve düşük oksijen geçirgenliği gibi özellikler kazandırır, böylece birçok kaplama işleminde tercih edilmesini sağlar.

Bal mumunun enkapsülasyon sürecindeki işlevleri arasında, suya ve gazlara karşı güçlü bariyerler oluşturması, aktif bileşenlerin oksidasyona ve nem kaybına karşı korunması yer alır. Özellikle hassas bileşenler için bu koruma çok önemlidir. Ayrıca, bal mumunun hidrofobik yapısı, aktif bileşenlerin kontrollü salımını sağlayarak ilaç ve gıda takviyelerinde istenilen zaman dilimlerinde bileşen salımını mümkün kılar. Doğal ve biyobozunur yapısı, bal mumunu çevre dostu bir malzeme yapar ve gıda, ilaç ve kozmetik ürünlerinde güvenle kullanılmasını sağlar. Düşük erime noktasına rağmen oda sıcaklığında katı formda kalabilmesi, stabilite gerektiren ürünlerin mikrokapsüllemesinde avantaj sağlar (Topal ve diğ, 2020).

Bal mumunun başlıca avantajları arasında oksijen ve nem bariyeri oluşturması, doğal ve zararsız yapısı, hidrofobik özellikleri sayesinde yavaş salım sağlaması yer alır. Bu özellikler, bal mumunu gıda endüstrisinde aroma, uçucu yağ ve vitaminlerin korunmasında; ilaç endüstrisinde kontrollü ilaç salımı sağlamak için mikrokapsüller oluşturulmasında; kozmetik ürünlerde ise cilt bakım bileşenlerinin korunmasında ideal kılar. Sonuç olarak, bal mumu, doğal yapısı, biyolojik uyumluluğu ve fiziksel özellikleri sayesinde özellikle gıda ve ilaç endüstrilerinde aktif bileşenlerin korunması ve kontrollü salımı açısından mükemmel bir kaplama malzemesi olarak öne çıkmaktadır (Aydın ve Ünlüel, 2021).

2.4 Uçucu Yağların Enkapsülasyonu

Uçucu yağların uçuculuğunun düşürülmesi, ürünlerin raf ömrünü uzatarak biyolojik etkilerini artırır. Enkapsülasyon ile sıvı uçucu yağlar, taşıyıcı matrise hapsedilerek kuru ve akışkan forma dönüştürülür. Uçuculuğun düşürülmesi için polimer matrislerde dispersiyon, kompleks yapılar veya kovalent bağlanma gibi metotlar kullanılarak kontrollü salım formülasyonları elde edilir. Bu süreç, özellikle ilaç salım sistemlerinde yaygın olarak uygulanmakta ve birçok patent ve yayın ortaya çıkarmaktadır (Deasy, 1984; Porzio, 2008).

Uçucu yağlar ve terpenler üzerine yapılan çalışmalar genellikle bitki seçimi, yağ elde etme yöntemleri ve bileşen izolasyonu gibi konulara odaklanmıştır. Uçucu yağların formülasyon çalışmaları, endüstriyel araştırmalarla ilişkilidir ve birçok patent başvurusuna yol açmıştır (Zasykin ve Porzio, 2004; McIver, 2005).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Hammadde ve Kimyasallar

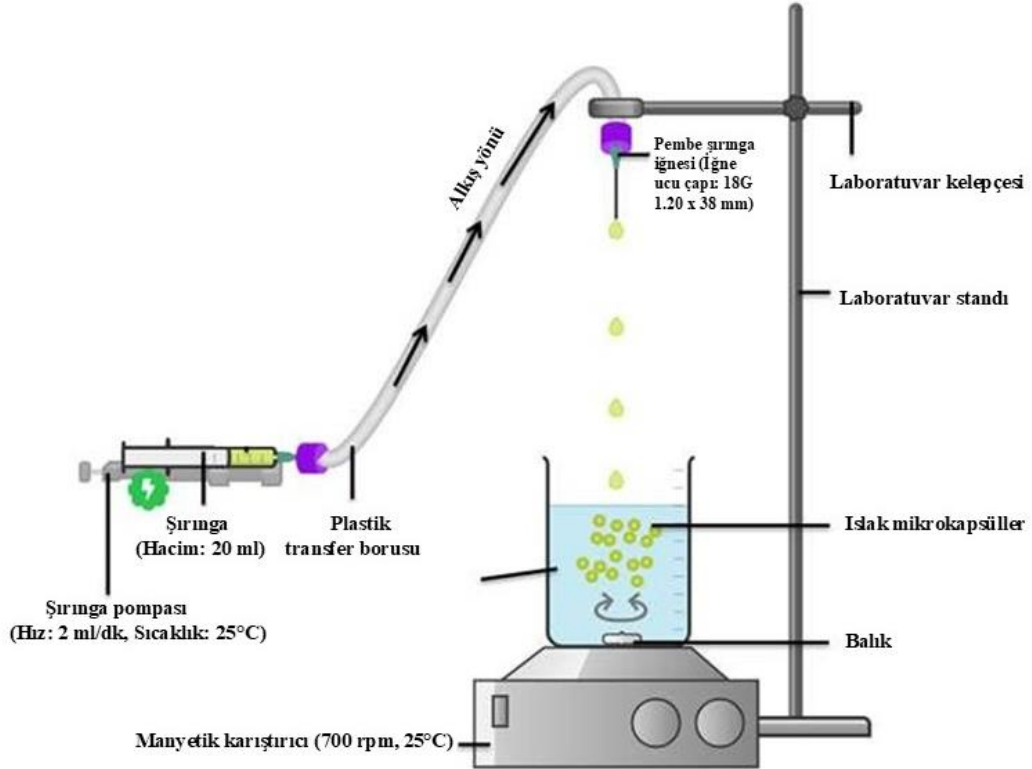
Bu çalışmada kullanılan defne yağı Mersin'deki yerel bir üreticiden, bal mumu ise Bursa'daki yerel bir marketten temin edilmiştir. Kalsiyum klorür dihidrat ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ve Polisorbat 20 ve Polisorbat 80 Isolab'dan (Almanya); sodyum aljinat Sigma-Aldrich'ten (ABD) temin edilmiştir.

3.2 Enkapsülasyon Prosesinin Gerçekleştirilmesi

İç jelasyon (core-shell, dolgulu mikrokapsülasyon) yönteminde, öncelikle bir yağ-su emülsiyonu hazırlanmıştır (Emülsiyon A). Bu emülsiyon, eşit hacimlerde (%1:1, v/v) defne yağı ve %24 (w/v) kalsiyum klorür (CaCl_2) çözeltisinin karıştırılmasıyla elde edilmiştir. Karışıma toplam hacme göre %0,5 (w/v) Polisorbat 80 ilave edilmiştir. Hazırlanan bu karışım, 800 rpm hızında çalışan bir homojenizatör (VELP Scientifica OV5 R2) ile 5 dakika boyunca homojenleştirilmiştir. Aynı bir kapta, sodyum aljinat (%2, w/v), etanol (%10, v/v), Polisorbat 20 (%0,5, w/v) ve damıtılmış su kullanılarak bir aljinat çözeltisi hazırlanmıştır. Bu çözeltinin karıştırılması, 500 rpm hızla çalışan bir manyetik karıştırıcı (Heidolph, Almanya) ile 10 dakika sürdürülmüştür. Son olarak, daha önce homojenize edilen yağ fazı (Emülsiyon A), bir şırınga pompası (Goldman AR-03) ve 18G (1,20 × 38 mm) şırınga iğnesi kullanılarak, 2 mL/dakika hızla aljinat çözeltisine damlatılmıştır. Bu işlem sonucunda (core-shell) yapısında dolgulu ağsı mikrokapsüller elde edilmiştir.

Dış jelasyon (matrix, ağsı mikrokapsülasyon) yönteminde ise, sodyum aljinat (%2, w/v) ve defne yağı, 1:1 (v/v) oranında karıştırılmış ve toplam karışıma %0,5 (w/v) Polisorbat 20 eklenmiştir. Bu karışım, 800 rpm hızında çalışan bir homojenizatör yardımıyla 2 dakika boyunca emülsifiye edilerek Emülsiyon B elde edilmiştir. Hazırlanan bu aljinat bazlı emülsiyon (Emülsiyon B), bir şırınga pompası ve 18G (1,20 × 38 mm) şırınga iğnesi ile %24 (w/v) CaCl_2 çözeltisi içeren bir banyo içerisine 2 mL/dakika hızla damlatılmıştır. Emülsiyon, bu banyoda 5 dakika boyunca

kariştırılmıştır. Kariştırma sũresinin ardından sũzũlen mikrokapsũller damıtılmış suyla yıkanmış ve ardından 25 °C oda sıcaklığında 18 saat boyunca kurutularak ağsı (matrix) yapılı mikrokapsũller elde edilmiştir.



Şekil 3.1: Enkapsũlasyon işlemi şematik gũrũnũmũ.

3.3 Kapsũllerin Bal Mumu İle Kaplanması

Bal mumu, 70 °C’de su banyosunda eritilmiş ve kapsũller, eriyen bal mumu ũzerine dũkũlerek kaplanmış, ardından hızlı bir şekilde oda sıcaklığına soğutulmuştur.

3.4 Defne Yağında GC-MS ile Uçucu Bileşen Analizi

Defne yağının uçucu bileşen profili, Agilent 5977B gaz kromatografisi (GC) cihazına bağlı 7890B kũtle spektrometresi (MS) detektũrũ kullanılarak analiz edilmiştir. Toplam 1 µL Ȗrnek, Agilent HP-5MS (19091S-433) kapiler kolon (30 m × 0,25 mm × 0,25 µm) ile donatılmış sisteme enjekte edilmiştir. Taşıyıcı gaz olarak helyum (sabit akış, 1 mL/dak) kullanılmıştır. Fırın sıcaklığ programı řu şekilde uygulanmıştır: Başlangığ sıcaklığı 40 °C’de 10 dakika tutulmuş, ardından 3 °C/dak artışla 120 °C’ye yũkseltilmiř, daha sonra 10 °C/dak artışla 250 °C’ye ęıkarılarak 5 dakika sabit

tutulmuştur. Enjektör sıcaklığı 250 °C olarak ayarlanmış, iyonizasyon enerjisi 70 eV, kütle tarama aralığı ise 30–350 m/z olarak belirlenmiştir. Solvent gecikme süresi 4 dakika olarak ayarlanmıştır. Bileşenlerin tanımlanması, kütle spektrelerinin NIST kütüphanesi ile karşılaştırılması ve literatür verileri ile doğrulanması yoluyla gerçekleştirilmiştir.

3.5 Kapsüllerin Analizleri

3.5.1 Enkapsülasyon verimi, enkapsülasyon etkinliği ve yükleme kapasitelerinin belirlenmesi

Erfani ve diğ. (2022) geliştirdiği yöntem enkapsülasyon verimini ölçmek için uyarlanmıştır. İlk olarak, 0,05 gram defne yağı yüklü mikrokapsüller 10 ml hekzan ile 15 dakika boyunca manyetik karıştırıcı kullanılarak karıştırılmıştır. Karıştırma işleminden sonra numuneler homojenize edilmiş ve ardından ayırtırmak için 8000 rpm'de 10 dakika santrifüjlenmiştir. Santrifüjün ardından her numuneden 1 ml alınmış ve hekzan ile 5 ml'ye seyreltilmiştir. Defne yağının maksimum absorpsiyon dalga boyu (260 nm) spektrum ölçümü yapılarak bulunmuş ve mikrokapsüllerin bu dalga boyundaki absorbansı bir spektrofotometre (Rigol Ultra-3660, Çin) kullanılarak ölçülmüştür. Son olarak, enkapsülasyon verimliliği, üretim verimi ve yükleme kapasitesi aşağıda verilen denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Enkapsülasyon Verimi (\%)} = \frac{\text{Yüklenen yağ miktarı (g)}}{\text{Eklenen yağ miktarı (g)}} \times 100 \quad (3.1)$$

$$\text{Üretim Verimi (\%)} = \frac{\text{Kapsül ağırlığı (g)}}{\text{Hammadde ağırlığı (g)}} \times 100 \quad (3.2)$$

$$\text{Yükleme Kapasitesi (\%)} = \frac{\text{Yüklenen yağ miktarı (g)}}{\text{Kapsül ağırlığı (g)}} \times 100 \quad (3.3)$$

3.5.2 Kapsüllerin kontrollü salım hızının belirlenmesi

Kapsüllerin salım profilini değerlendirmek amacıyla, 0,25 g'lık örnekler cam Petri kaplarına yerleştirilmiş ve %50 bağıl nemde, 25 °C, 35 °C ve 45 °C sıcaklıklarda depolanmıştır. Örneklerin kütle değişimleri, belirlenen zaman aralıklarında (1, 2, 5,

24, 72, 96 ve 240 saat) kaydedilmiştir. Tüm analizler üç paralel olarak gerçekleştirilmiştir.

3.5.3 FT-IR analizi

Mikrokapsüllerin yapısal özellikleri, Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FT-IR) spektroskopisi yöntemi ile analiz edilmiştir. Spektral ölçümler, 4 cm^{-1} çözünürlükte ve $400\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ dalga sayısı aralığında gerçekleştirilmiş olup, analizlerde Thermo Fisher marka Nicolet iS50 (ABD) model spektrometre cihazı kullanılmıştır.

3.5.5. Tekstür analizi

Kapsüllerin mekanik özellikleri tekstür analiz cihazı (TA. XTplus, Stable Micro Systems, UK) kullanılarak belirlenmiştir. Ölçümler için 5 kg'lık bir yük hücresi ve 2 mm çapında silindirik bir prob (P/2) içeren cihaz kullanılmıştır. Test öncesi, test ve test sonrası hızlar 1 mm/s olarak ayarlanmıştır; test süresi 3 saniyedir. Her kapsüle dikey yönde kuvvet uygulanarak maksimum kuvvet (N cinsinden) sertlik değeri olarak kaydedilmiştir. Ölçümler her gruptan 10 kapsül üzerinde gerçekleştirilmiş ve ortalama sertlik değerleri hesaplanmıştır.

3.5.4 Kapsüllerin boyut analizleri ve mikroskop görüntüleri

Kapsüllerin boyutu, küresellik derecesi, yüzey morfolojisi ve iç yapısı sırasıyla optik mikroskop (Leica EZ4-E stereo zoom mikroskop, Leica Microsystems, Wetzlar, Almanya) kullanılarak karakterize edilmiştir. Kapsüllerin genel şekli ve iç yapısı, optik mikroskop altında $8\times$ büyütme ile değerlendirilmiş; her gruptan rastgele seçilen 12 kapsülün çapı ImageJ 1.53f51v (ABD) yazılımı ile ölçülmüştür. Kapsüllerin küresellik (Ψ) değerleri, Demircan ve Oral (2023) tarafından tanımlanan aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\Psi(\%) = \frac{2D_{min}}{D_{min} + D_{maks}} \quad (3.4)$$

Bu denklemde, D_{min} kapsülün minimum çapını (mm), D_{maks} ise maksimum çapını (mm) ifade etmektedir.

3.5.5 Renk analizi

Renk analizi bir kolorimetre (HunterLab, UltraScan VIS, ABD) kullanılarak gerçekleştirilerek L (parlaklık), a ($\pm$ kırmızı-yeşil) ve b ($\pm$ sarı-mavi) renk koordinatları CIELab renk uzayı sistemine göre belirlendirilmiştir.

3.6 İstatistiksel Analizler

Mikrokapsüllere ilişkin analiz sonuçları, tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yöntemiyle istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Tüm istatistiksel işlemler, üç tekerrürlü veri setleri kullanılarak SPSS yazılımının 22. sürümü (IBM Corp., New York, ABD) ile yürütülmüştür. Anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak belirlenmiş olup, anlamlı fark gösteren grupların karşılaştırılmasında Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi uygulanmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1 Defne Yağının Uçucu Bileşen Profili

Defne yağına ait uçucu bileşen analiz sonuçları Çizelge 4.1’de kimyasal gruplarına göre sınıflandırılarak; moleküler formülleri, moleküler ağırlıkları ve alıkonma süreleri ile sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, defne yağının özellikle monotерpenler ile aromatik ve oksijenli monotерpen türevleri açısından zengin olduğunu göstermekte olup, bu bulgular önceki çalışmalarla da uyumludur (Ordoudi ve diğ, 2022; Anzano ve diğ, 2022). Analiz sonucunda ketonlar, karboksilik asitler, monotерpenler ve hidrokarbonlar gibi çeşitli bileşik sınıflarına ait çok sayıda uçucu bileşen tespit edilmiştir. Keton grubu içerisinde 3-pentanon, 3-heksanon ve 4-heptanon yer almakta olup, bu bileşiklerin yağın koku profiline önemli katkı sağladığı bilinmektedir. Karboksilik asitler kategorisinde ise propiyonik asit ve bütirik asit öne çıkmakta, bu asitlerin biyolojik aktivite ve kimyasal stabilite üzerinde etkili olabileceği değerlendirilmektedir.

Çalışmada en baskın bileşik grubu olan monotерpenler arasında α -pinen, β -pinen, sabinen, γ -terpinen, D-limonen, 1,8-sineol (ökaliptol), linalool ve α -terpineol gibi bileşenler öne çıkmaktadır. Bu bileşenler, defne yağının karakteristik aromatik yapısını ve biyolojik aktivitesini belirleyen temel faktörlerdir. Monotерpenlerin özellikle antimikrobiyal, antioksidan ve antienflamatuar özellikleri ile farmakolojik açıdan büyük öneme sahip olduğu bilinmektedir. Bunun yanı sıra, sikloheksan ve benzen gibi bazı aromatik hidrokarbon bileşikler de düşük oranlarda tespit edilmiş olup, bu bileşenler uçucu yağın stabilitesi ve kokusal özellikleri üzerinde etkili olabilmektedir.

Önceki çalışmalar, defne yağı bileşenlerinin farmakoloji, kozmetik ve gıda endüstrisi gibi birçok alanda geniş bir kullanım potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle α -pinen ve 1,8-sineol gibi bileşiklerin antimikrobiyal etkileri bilimsel olarak kanıtlanmış olup, bu özellikleri sayesinde tıbbi uygulamalarda ve

Çizelge 4.1: Defne yağının uçucu bileşen profili.

Kimyasal Bileşik	Kimyasal Grup	Molekül Formülü	Moleküler Ağırlık (g/mol)	Alıkonma Süresi (dk)
3-Pentanon	Keton	C ₅ H ₁₀ O	86,1	2,978
3-Heksanon	Keton	C ₆ H ₁₂ O	100,16	2,978
2,3-Heksadion	Diketon	C ₆ H ₁₀ O ₂	114,14	2,978
4-Heptanon	Keton	C ₇ H ₁₄ O	114,19	2,978
Propiyonik Asit	Karboksilik Asit	C ₃ H ₆ O ₂	74,08	4,948
Bütirik Asit	Karboksilik Asit	C ₄ H ₈ O ₂	88,11	4,948
γ-Terpin	Monoterpen	C ₁₀ H ₁₆	136,23	5,482
α-Pinen	Monoterpen	C ₁₀ H ₁₆	136,23	5,482
Sabinen	Monoterpen	C ₁₀ H ₁₆	136,23	5,482
3-Karen	Monoterpen	C ₁₀ H ₁₆	136,23	5,482
o-Simen	Monoterpen	C ₁₀ H ₁₄	134,22	8,049
Benzen	Aromatik Hidrokarbon	C ₆ H ₆	78,11	8,049
p-Simen	Monoterpen	C ₁₀ H ₁₄	134,21	8,049
D-Limonen	Monoterpen	C ₁₀ H ₁₆	136,24	8,188

Çizelge 4.2 (devam): Defne yağının uçucu bileşen profili.

Kimyasal Bileşik	Kimyasal Grup	Molekül Formülü	Moleküler Ağırlık (g/mol)	Alıkonma Süresi (dk)
Ökalyptol (1,8-Sineol)	Monoterpen	C ₁₀ H ₁₈ O	154,25	8,275
Linalool	Monoterpen	C ₁₀ H ₁₈ O	154,25	8,275
(+)-4-Karen	Monoterpen	C ₁₀ H ₁₆	136,23	10,697
Siklofenşen	Monoterpen	C ₁₀ H ₁₆	136,23	10,697
(+)-3-Karen	Monoterpen	C ₁₀ H ₁₆	136,23	10,697
2-β-Pinen	Monoterpen	C ₁₀ H ₁₆	136,23	10,697
α-Terpineol	Monoterpen	C ₁₀ H ₁₈ O	154,25	14,313
2-Karen	Monoterpen	C ₁₀ H ₁₆	136,23	14,313
cis-Osimen	Monoterpen	C ₁₀ H ₁₆	136,23	14,313
(+)-2-Karen	Monoterpen	C ₁₀ H ₁₆	136,23	14,313
Terpinolen	Monoterpen	C ₁₀ H ₁₆	136,23	14,313
Alloosimen	Monoterpen	C ₁₀ H ₁₆	136,24	14,313
Kamfen	Monoterpen	C ₁₀ H ₁₆	136,24	20,959
cis-Osimen	Monoterpen	C ₁₀ H ₁₆	136,23	20,959
(-)-β-Pinen	Monoterpen	C ₁₀ H ₁₆	136,23	20,959
Siklohekzen	Hidrokarbon	C ₆ H ₁₀	82,14	20,959

aromaterapi alanında değerlendirilmeleri mümkündür. Bu bileşenler aynı zamanda defne ağının terapötik etkilerinin anlaşılması açısından da önem arz etmektedir (Şahin ve diğ, 2017; Duke ve diğ, 2002; Baser ve diğ, 2010).

4.2 Enkapsülasyon Verimi, Enkapsülasyon Etkinliği ve Yükleme Kapasiteleri

Örneklere ait yükleme kapasitesi (YK), enkapsülasyon etkinliği (EE) ve üretim verimine (ÜV) ilişkin değerler Çizelge 4.2’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde farklı enkapsülasyon tekniklerinin kapsüllerin yükleme kapasitesi ve enkapsülasyon teknikleri üzerinde etkisi bulunmazken iç jelasyon yönteminin dış jelasyon yöntemine göre üretim verimini arttırdığı görülmüştür.

Çizelge 4.2: Enkapsülasyon verimi, enkapsülasyon etkinliği ve yükleme kapasiteleri.

Örnek	YK (%)	EE (%)	ÜV (%)
M	40,48 ± 1,51 ^a	84,56 ± 5,03 ^a	78,25 ± 2,38 ^a
MB	41,05 ± 2,01 ^a	85,37 ± 5,03 ^a	77,84 ± 4,55 ^a
C	41,33 ± 2,51 ^a	84,06 ± 4,00 ^a	88,10 ± 2,05 ^b
CB	42,12 ± 2,15 ^a	85,66 ± 4,00 ^a	87,87 ± 1,47 ^b

^{a-b}: Farklı üst simgeler kapsülleme teknikleri arasındaki farklılığı göstermektedir (p<0,05)

Güçlü antioksidan potansiyeli ile bilinen defne yaprağı polifenollerinin düşük stabilite ve biyoerişilebilirlik gibi zorluklarla karşı karşıya olması enkapsülasyonu için önemli bir gerekçe sağlamaktadır. Bunun için ve Dobroslavić ve diğ. (2023) yeni bir mikroenkapsülasyon yöntemi olarak elektrostatik ekstrüzyonu değerlendirilmiştir. Optimum formülasyon olarak seçilen %1 aljinat, %1,5 CaCl₂ ve %0,5 kitosan ile %92,76’lık yüksek bir kapsülleme verimliliği elde etmiştir. Genel olarak, kapsülleme işleminin defne yaprağı polifenollerinin biyoerişilebilirliğini artırdığı ve elektrostatik ekstrüzyonun fonksiyonel gıda uygulamalarında defne yaprağı polifenollerinin stabilizasyonu ve dağıtımı için etkili bir teknik olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Defne yağı enkapsülasyonu üzerine yapılan başka bir çalışmada, yaprağının hidroalkolik ekstresi kapsülleme için kullanılmıştır. Ekstrakt nanolipozom tekniği kullanılarak enkapsüle edilmiş, ortalama partikül boyutu 99,05 ± 2,98 nm ve enkapsülasyon etkinliği %73,76 ± 1,10 olarak bulunmuştur. Kapsülasyonun ekstraktın stabilitesini ve

biyoaktivitesini etkili bir şekilde artırarak raf ömrünün uzamasına ve kıymada mikrobiyal güvenliğin arttırılmasına katkıda bulunduğu bildirilmiştir (Tometri ve diğ, 2020). Bu çalışmaların sonuçlarının literatürde yer alan diğr defne yağı enkapsülasyonu çalışmaları ile benzerlik gösterdiği görölmektedir.

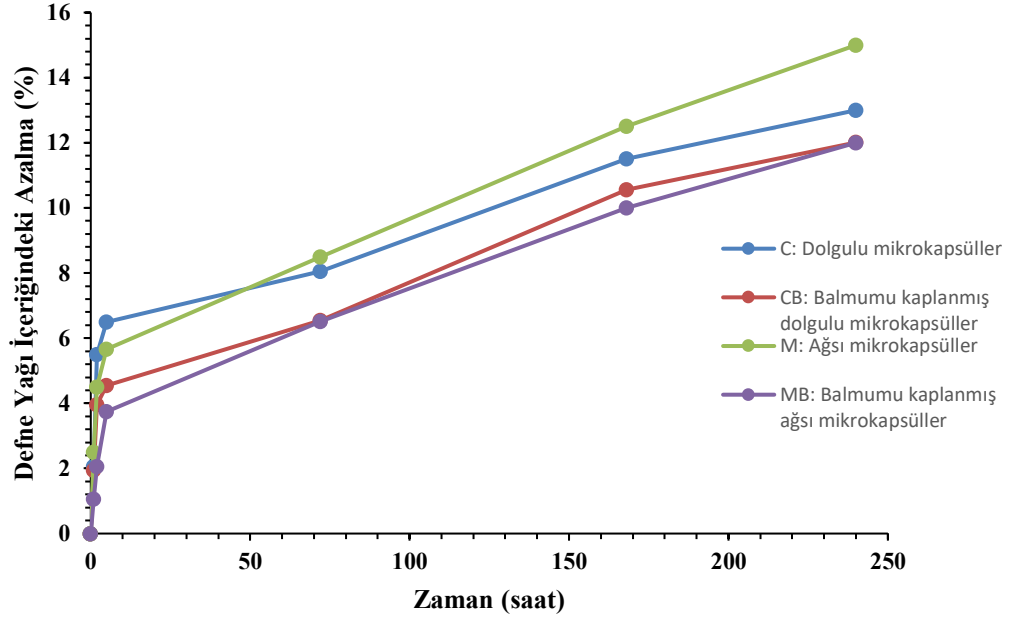
4.3 Kontrollü Salım

Farklı üretim teknikleriyle üretilen defne yağı mikrokapsüllerinin farklı sıcaklıklardaki (25-35-45 °C) salımı Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’da gösterilmiştir. Dolgulu yöntemi ile üretilen mikrokapsüller (C) ile ağsı yöntemle üretilen mikrokapsüller (M) kıyaslandığında, ağsı yöntemle üretilen kapsüllerin daha fazla yağ kaybına uğradığı gözlemlenmiştir. Bu durum, dolgulu yapısının uçucu bileşenlerin korunmasında daha etkili bir bariyer oluşturduğunu göstermektedir. Ayrıca, bal mumu ile kaplanmış mikrokapsüller (CB ve MB) ile kaplamasız mikrokapsüller karşılaştırıldığında, bal mumu kaplamanın defne yağı kaybını azalttığı açıkça görölmektedir. Bal mumu kaplanmış dolgulu mikrokapsülleri (CB) ve bal mumu kaplanmış ağsı mikrokapsülleri (MB), kaplamasız gruplara kıyasla daha düşük kayıp oranlarına sahiptir.

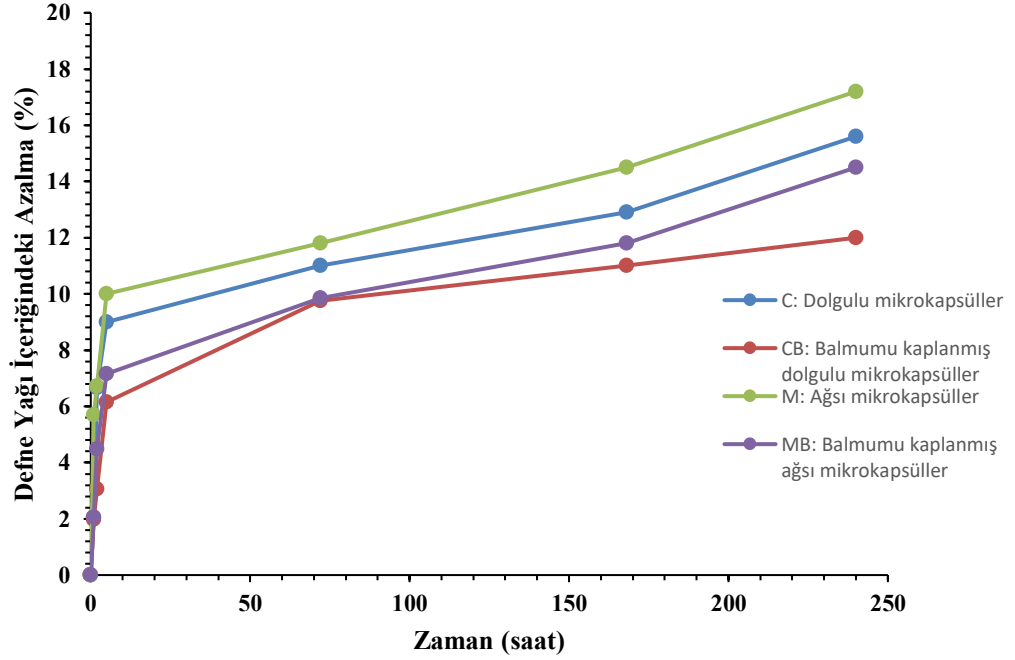
Bu bulgular, defne yağı içeriğinin korunmasında hem dolgulu yönteminin hem de bal mumu kaplamasının önemli bir rol oynadığını göstermektedir. En düşük yağ kaybı, dolgulu yöntemiyle üretilip bal mumu ile kaplanmış mikrokapsüllerde (CB) gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda, uçucu yağların korunması ve kontrollü salımı için dolgulu yöntemi ile üretilmiş ve bal mumu kaplanmış mikrokapsüllerin daha etkili bir strateji sunduğu söylenebilmektedir.

Grafikte, 35 °C sıcaklık ve %50 bağıl nem koşullarında depolanan farklı mikrokapsül gruplarının zamanla defne yağı içeriğindeki azalma yüzdeleri karşılaştırılmaktadır. Önceki 25 °C sıcaklık koşulundaki grafiğe kıyasla, tüm gruplarda yağ kaybının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, sıcaklığın artmasıyla birlikte defne yağı kaybının hızlandığını ve termal stabilitenin azalabileceğini göstermektedir.

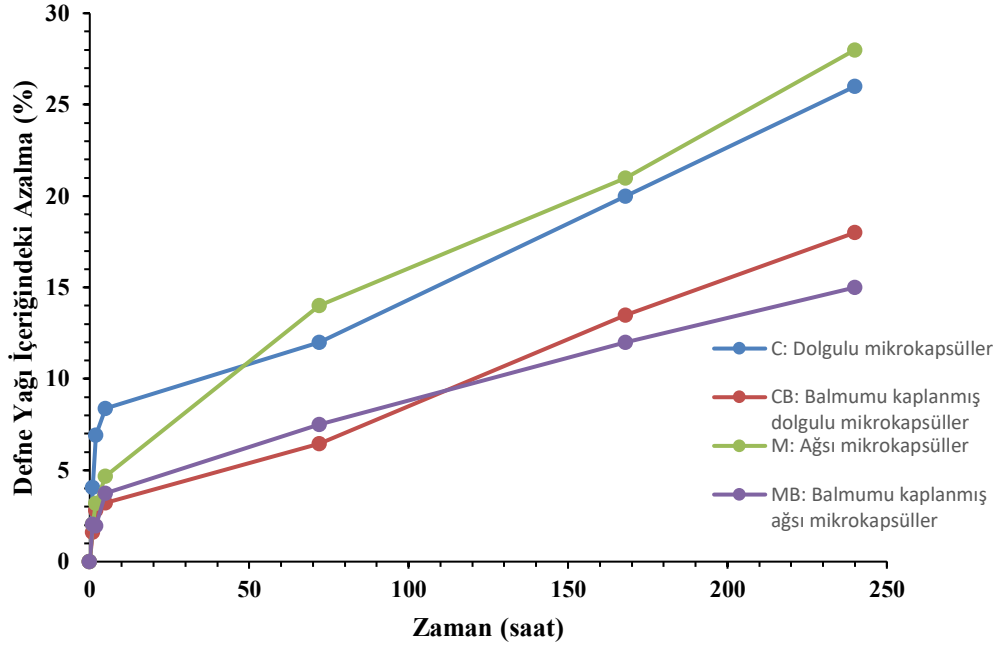
Dolgulu yöntemiyle üretilen mikrokapsüller (C) ile ağsı yöntemiyle üretilen mikrokapsüller (M) kıyaslandığında, ağsı yöntemiyle üretilen kapsüllerde daha fazla yağ kaybı meydana gelmiştir.



Şekil 4.1: Kapsüllerin 25 °C'deki salımı.



Şekil 4.2: Kapsüllerin 35 °C'deki salımı.



Şekil 4.3: Kapsüllerin 45 °C'deki salımı.

Bu bulgu, dolgulu yapısının uçucu bileşenlerin korunmasında daha etkili bir bariyer sağladığını desteklemektedir. Bal mumu ile kaplanmış mikrokapsüller (CB ve MB) ile kaplamasız mikrokapsüller karşılaştırıldığında, bal mumu kaplamanın defne yağı kaybını azaltmada önemli bir rol oynadığı görülmektedir. Bununla birlikte, yüksek sıcaklık koşullarında bal mumu kaplamanın etkinliği bir miktar azalmış olup, özellikle bal mumu kaplanmış ağsı mikrokapsüllerde (MB) yağ kaybı daha belirgin hale gelmiştir.

Önceki 25 °C'lik depolama koşullarındaki sonuçlarla karşılaştırıldığında, artan sıcaklığın tüm gruplarda yağ kaybını artırdığı ve özellikle ağsı yöntemiyle üretilen mikrokapsüllerin bu durumdan daha fazla etkilendiği anlaşılmaktadır. En düşük yağ kaybı, dolgulu yöntemiyle üretilip bal mumu ile kaplanmış mikrokapsüllerde (CB) gözlemlenmiştir. Bu bulgular, uçucu bileşenlerin korunması için dolgulu yöntemi ve bal mumu kaplamanın birlikte kullanımının daha avantajlı olduğunu ve yüksek sıcaklık koşullarında stabilitenin sağlanması açısından bu yöntemin daha uygun bir seçenek sunduğunu ortaya koymaktadır (Huang ve diğ, 2025; El-Toni ve diğ, 2016). Grafikte, 45 °C sıcaklık ve %50 bağıl nem koşullarında depolanan mikrokapsüllerin zamanla defne yağı içeriğindeki azalma yüzdeleri gösterilmektedir. Önceki 25 °C ve 35 °C sıcaklık koşullarına kıyasla, tüm mikrokapsül türlerinde defne yağı kaybının belirgin şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum, sıcaklığın artışıyla birlikte uçucu

bileşenlerin daha hızlı buharlaştığını ve kapsüllerin yağ tutma kapasitesinin azaldığını göstermektedir.

Dolgulu yöntemiyle üretilen mikrokapsüller (C) ile ağsı yöntemiyle üretilen mikrokapsüller (M) karşılaştırıldığında, ağsı yöntemiyle üretilen kapsüllerde yağ kaybının daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu bulgu, önceki sıcaklık koşullarında elde edilen sonuçlarla tutarlıdır ve dolgulu yönteminin uçucu bileşenlerin korunmasında daha etkili bir bariyer sağladığını göstermektedir. Bal mumu kaplamanın etkisi değerlendirildiğinde, bal mumu ile kaplanmış mikrokapsüllerde (CB ve MB) yağ kaybının, kaplanmamış mikrokapsüllere kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ancak, 45 °C gibi yüksek sıcaklık koşullarında bal mumu kaplamanın koruyucu etkisinin kısmen azaldığı ve özellikle ağsı yöntemiyle üretilip bal mumu ile kaplanmış mikrokapsüllerde (MB) yağ kaybının belirgin olduğu görülmektedir.

Genel olarak, artan sıcaklığın tüm mikrokapsüllerde yağ kaybını hızlandığı, ancak dolgulu yöntemiyle üretilen ve bal mumu ile kaplanan mikrokapsüllerin nispeten daha yüksek stabilite sağladığı anlaşılmaktadır. En fazla yağ kaybı ağsı yöntemiyle üretilen mikrokapsüllerde (M) gözlemlenirken, en düşük yağ kaybı dolgulu yöntemiyle üretilip bal mumu ile kaplanmış mikrokapsüllerde (CB) tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, uçucu bileşenlerin korunması açısından düşük sıcaklıklarda depolamanın ve uygun kapsülleme tekniklerinin kullanımının önemini vurgulamaktadır (Huang ve diğ, 2025; Bakhteyar ve diğ, 2021; Fairhurst ve diğ, 2019).

4.4 FT-IR Analizi

Defne uçucu yağının bal mumu kullanılarak mikroenkapsülasyonu üzerine gerçekleştirilen Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) analizi, mikroenkapsülasyon süreçlerinin kimyasal yapıya etkilerini incelemek ve uygulanan yöntemlerin sonuçlarını değerlendirmek açısından önemli bulgular sunmaktadır (Pirinçcioğlu ve diğ, 2017). FT-IR spektrumları, dalga sayısı (cm^{-1}) ile transmitans (%) değerleri arasındaki ilişkiyi ortaya koyarak her bir örneğin özgün kimyasal bileşimini göstermektedir. Özellikle 2750 1600, 1400 ve 700 cm^{-1} bandında gözlemlenen farklı fonksiyonel gruplar, bal mumunun mikroenkapsülasyon süreçlerine etkisini değerlendirmek açısından kritik öneme sahiptir.

Defne uçucu yağı ile bal mumu kaplamalı ve kaplamasız mikrokapsüllerin karakterizasyonuna yönelik FT-IR spektrumları Şekil 4.4'te sunulmuştur. González-Rivera ve diğ. (2016) tarafından bildirildiği üzere, defne yağı spektrumunda hidroksil gruplarına ($3200\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$), C-H bağlarına (2900 cm^{-1}) ve karbonil gruplarına (C=O , 1700 cm^{-1}) ait belirgin pikler yağın kimyasal bileşimini yansıtırken, bal mumu katkısının varlığı bu piklerde belirgin değişikliklere yol açmıştır.

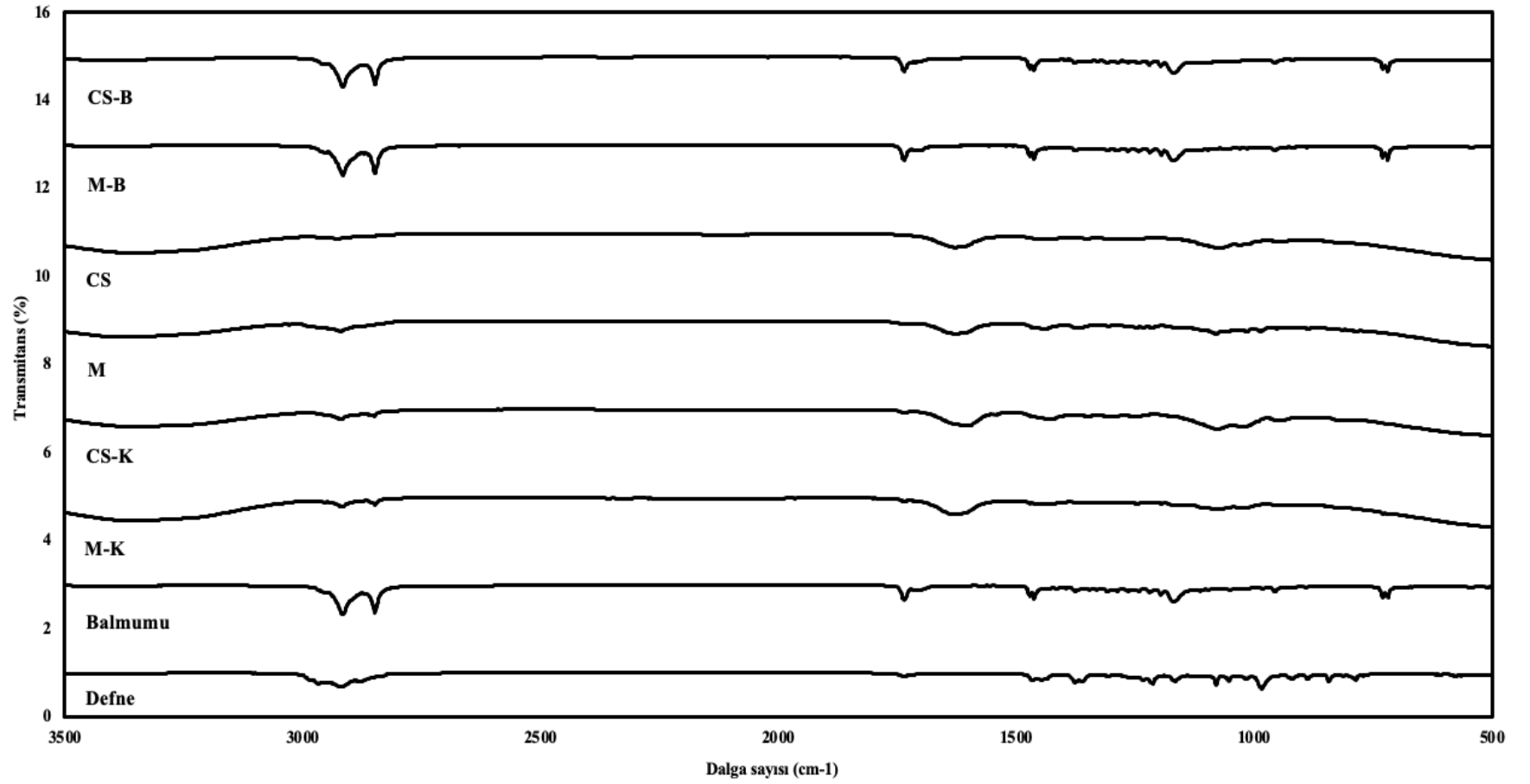
Bal mumu ile kaplanmış mikrokapsüllerin spektrumlarında, bal mumunun yüzeyde oluşturduğu kaplamanın hidroksil gruplarını maskeleyiği ve karbonil piklerini güçlendirdiği gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra, $1500\text{--}400\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki “parmak izi bölgesi”, mikrokapsüllerin yapısal farklılıklarını ve kullanılan yöntemlerin özgün etkilerini net biçimde ortaya koymaktadır (Öztürk, 2023; Odabaş, 2019). Elde edilen bulgular doğrultusunda bal mumunun defne yağı ve bal mumu bileşenlerinin kapsül yapısındaki varlığı, belirgin pikler aracılığıyla açıkça kanıtlanmıştır.

4.5 Tekstür Analizi

Çizelge 4.3, farklı mikrokapsül üretim yöntemleri ve kaplama durumlarına göre sertlik (N) değerlerini karşılaştırmaktadır. Dolgulu yöntemiyle üretilip bal mumu ile kaplanan CB örneği ($55,35\pm4,53\text{ N}$), istatistiksel olarak anlamlı şekilde en yüksek sertlik değerine sahiptir. Bu sonuç, bal mumu kaplamanın mikrokapsüllerin mekanik dayanımını önemli ölçüde artırdığını göstermektedir.

Ağsı yöntemle elde edilen ve kaplama içermeyen M örnekleri ($1,68\pm0,47\text{ N}$) ise en düşük sertlik değerine sahiptir; bu durum, bu yöntemin daha zayıf bir yapısal bütünlük sağladığını düşündürmektedir. Bal mumu ile kaplanan ağsı mikrokapsüller (MB) ve dolgulu yöntemiyle kaplama yapılmadan elde edilen C örnekleri ise sırasıyla $9,29\pm4,03\text{ N}$ ve $10,93\pm2,29\text{ N}$ sertlik değerleriyle birbirine yakın sonuçlar vermiştir.

Harflerle gösterilen istatistiksel gruplandırmalara göre, CB örneği diğer tüm gruplardan anlamlı düzeyde farklılık göstermektedir. Elde edilen bulgular hem üretim yönteminin hem de kaplama uygulamasının mikrokapsüllerin mekanik özellikleri üzerinde belirleyici etkileri olduğunu ortaya koymaktadır (Tümkiye ve diğ, 2017; Kandemir ve diğ, 2022).



Şekil 4.4: Mikrokapsüllerin FT-IR spektrumları.

Çizelge 4.3: Tekstür özelliklerin çizelgesi.

Örnek	Çap (mm)	Küresellik (%)	Sertlik (N)
M	$2,09 \pm 0,05^b$	$97,12 \pm 1,09^a$	$1,68 \pm 0,47^d$
MB	$2,66 \pm 0,17^a$	$97,72 \pm 0,84^a$	$9,29 \pm 4,03^c$
C	$2,07 \pm 0,05^b$	$95,60 \pm 1,16^a$	$10,93 \pm 2,29^b$
CB	$2,58 \pm 0,22^a$	$92,55 \pm 3,51^a$	$5,35 \pm 4,53^a$

4.6 Kapsüllerin Boyut Analizleri Ve Mikroskop Görüntüleri

Optik mikroskop kullanılarak (Leica, Almanya) gerçekleştirilen kapsül boyut analizleri ve mikroskop görüntüleri aşağıda değerlendirilmiştir. Mikrometre lamı ile kalibre edilen ölçümler, görüntü analiz yazılımı yardımıyla incelenmiş ve böylece mikrokapsüllerin morfolojik özellikleri detaylı olarak ortaya konmuştur.

Çalışmada farklı mikrokapsül tipleri incelenmiş olup, Şekil 4.5'te sırasıyla ağsı mikrokapsüller (M), bal mumu kaplı ağsı mikrokapsüller (MB), dolgulu mikrokapsüller (C) ve bal mumu kaplı dolgulu mikrokapsüllerin (CB) optik mikroskop görüntüleri sunulmuştur. Bu görseller, üretim yöntemi ve kaplama durumuna bağlı olarak kapsül yüzey morfolojisindeki farklılıkları açıkça göstermektedir. Yapısal karakterizasyonlar, mikrokapsüllerin kontrollü salım, stabilite ve fonksiyonellik gibi performans kriterleri üzerinde doğrudan etkili olmaktadır.

Mikrokapsüllerin ortalama çap ve küresellik değerleri Çizelge 4.3'te verilmiştir. Çap ölçümleri, bal mumu ile kaplanmış ağsı mikrokapsüller (MB) ve bal mumu kaplı dolgulu mikrokapsüller (CB) örneklerinde sırasıyla $2,66 \pm 0,17$ mm ve $2,58 \pm 0,22$ mm ile en büyük değerleri göstermiştir. Buna karşılık, kaplama içermeyen ağsı (M) ve dolgulu (C) mikrokapsüller daha küçük çaplara sahiptir (sırasıyla $2,09 \pm 0,05$ mm ve $2,07 \pm 0,05$ mm). Bu durum, bal mumu kaplamanın partikül büyüklüğünü artırdığı ve daha iri yapılar oluşturduğu şeklinde yorumlanabilir. İstatistiksel analizlerde, MB ve CB örnekleri benzer büyüklükte olup aynı grupta yer alırken, M ve C örnekleri de kendi aralarında benzerlik göstermektedir.

Küresellik açısından en yüksek değer bal mumu kaplı ağsı mikrokapsüllerde (MB) elde edilmiştir ($\%97,72 \pm 0,84$). Bunu $\%97,12 \pm 1,09$ ile ağsı mikrokapsüller (M) takip etmekte olup, bu iki grup istatistiksel olarak benzerlik göstermektedir. Dolgulu mikrokapsüller (C) $\%95,60 \pm 1,16$ oranında küresellik sergilerken, bal mumu kaplı

dolgulu mikrokapsüller (CB) $92,55 \pm 3,51$ ile en düşük küresellik değerine sahiptir. Bu sonuçlar, bal mumu kaplamanın her iki mikrokapsül tipinde çapı artırmasına rağmen, dolgulu yapılarında küreselliği azalttığını göstermektedir. Özellikle CB örneğinde gözlenen daha düşük küresellik, düzensiz yüzey yapısı ve kaplama sırasında oluşan topaklanma veya yapışma eğilimi ile ilişkilendirilebilir.

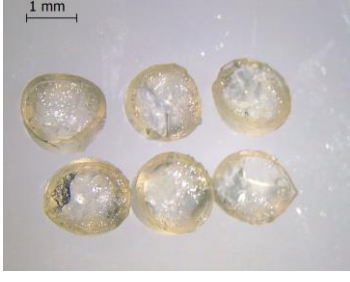
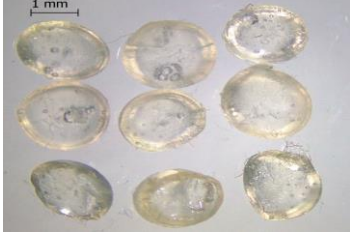
Genel olarak, bal mumu kaplamanın hem mikrokapsül çapı hem de morfolojisi üzerinde belirgin etkileri olduğu; üretim yöntemi ile birlikte değerlendirildiğinde kapsülün istenilen fiziksel özelliklere ulaşmasında kritik rol oynadığı sonucuna varılmıştır. Bu bulgular, mikrokapsülleme sürecinde kullanılacak yöntem ve kaplama malzemesinin uygulama amacına göre titizlikle seçilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.3'te yer alan verilere bakıldığında küresellik değerleri açısından en yüksek küresellik MB yöntemi ile elde edilmiş olup ($97,72 \pm 0,84$), en düşük küresellik ise CB yöntemiyle üretilen kapsüllerde gözlemlenmiştir ($92,55 \pm 3,51$). Bu durum, CB yöntemiyle üretilen mikrokapsüllerin daha düzensiz ve heterojen bir morfolojiye sahip olduğunu göstermektedir. M ($97,12 \pm 1,09$) ve C ($95,60 \pm 1,16$) yöntemleri ise MB ve CB yöntemleri arasında orta düzeyde küresellik sergilemektedir.

Mikrokapsüllerin ortalama çap değerleri incelendiğinde, bal mumu kaplı MB ve CB yöntemleri ile elde edilen kapsüllerin (sırasıyla $2,66 \pm 0,17$ mm ve $2,58 \pm 0,22$ mm) daha büyük çaplara sahip olduğu belirlenmiştir. Buna karşılık, kaplama içermeyen M ve C yöntemleriyle üretilen kapsüller (sırasıyla $2,09 \pm 0,05$ mm ve $2,07 \pm 0,05$ mm) daha küçük ve homojen çap dağılımı göstermektedir.

Bu sonuçlar, bal mumu kaplamanın mikrokapsül çapını artırdığını ve MB ile CB yöntemleriyle daha iri partiküller oluştuğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, küresellik ve çap değerlerinin kullanılan mikrokapsül üretim yöntemine bağlı olarak değiştiği anlaşılmaktadır; MB yöntemi en yüksek küreselliği sağlarken, CB yöntemi daha düşük küresellik değerlerine sahiptir.

Genel olarak, MB ve CB yöntemleri M ve C yöntemlerine kıyasla daha büyük çaplı kapsüller üretmekte olup, bu farklılıklar mikrokapsülleme sürecinde hedeflenen morfolojik ve fiziksel özelliklere uygun yöntem seçiminin önemini vurgulamaktadır.

Örnek	Yüzey	Kesit
C		
M		
CB		
MB		

Şekil 4.5: Kapsüllerin yüzey ve enine kesitlerinin optik mikroskop görüntüsü.

4.7 Renk Analizi

Renk analizi sonuçlarına göre, örnekler arasında parlaklık (L^*), kırmızı-yeşil eksen (a^*), sarı-mavi eksen (b^*) ve toplam renk farkı (ΔE^*) değerlerinde belirgin farklılıklar gözlenmiştir.

Parlaklık (L^*) açısından değerlendirildiğinde, en yüksek değer ağsı yöntemiyle üretilen mikrokapsüllerde (M: $53,45 \pm 0,38$) tespit edilirken, en düşük değer aynı yöntemle üretilip bal mumu ile kaplanmış mikrokapsüllerde (MB: $47,15 \pm 0,19$) gözlemlenmiştir. Bu durum, ağsı yöntemiyle hazırlanan mikrokapsüllerin daha açık

renkte olduğunu, bal mumu kaplamanın ise parlaklık değerini azalttığını göstermektedir.

Kırmızı-yeşil eksenini (a^*) incelendiğinde, dolgulu yöntemiyle üretilip bal mumu ile kaplanan mikrokapsüllerin (CB: $2,80 \pm 0,08$) en yüksek değere sahip olduğu ve kırmızı tonuna daha yakın olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde, ağsı yöntemiyle üretilip bal mumu ile kaplanan mikrokapsüller (MB: $2,04 \pm 0,15$) de kırmızıya doğru bir eğilim göstermektedir. Buna karşın, ağsı yöntemiyle üretilen mikrokapsüller (M: $-0,86 \pm 0,10$) negatif a^* değeri ile yeşil tonuna daha yatkın bir renk sergilemektedir.

Sarı-mavi eksenini (b^*) değerlerine bakıldığında, en yüksek b^* değeri dolgulu yöntemiyle üretilip bal mumu ile kaplanan mikrokapsüllerde (CB: $10,23 \pm 0,20$) bulunurken, en düşük değer ağsı yöntemiyle üretilen mikrokapsüllerde (M: $5,98 \pm 0,32$) gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, bal mumu kaplamanın mikrokapsüllerin renk parametrelerini etkilediğini ve kaplanan örneklerin daha sıcak renk tonlarına sahip olduğunu göstermektedir.

Toplam renk farkı (ΔE^*) açısından değerlendirildiğinde, en düşük değer dolgulu yöntemiyle üretilen mikrokapsüllerde (C: $7,97 \pm 0,47$), en yüksek değer ise dolgulu yöntemiyle üretilip bal mumu ile kaplanmış mikrokapsüllerde (CB: $11,91 \pm 0,21$) belirlenmiştir. Bu durum, bal mumu kaplamanın renk değişimi üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır. Özellikle bal mumu kaplanan örneklerdeki yüksek ΔE^* değerleri, kaplama işleminin mikrokapsüllerin renk farklılığını artırdığını göstermektedir.

Sonuç olarak çalışmaya paralel olarak üretim yöntemi ve kaplama işlemlerinin renk parametreleri üzerinde anlamlı etkileri olduğu bildirilmiştir (Çekin ve diğ., 2024; Kılınç ve diğ., 2021).

Çizelge 4.4: Renk parametreleri.

Örnek	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
M	$53,45 \pm 0,38^a$	$-0,86 \pm 0,10^b$	$5,98 \pm 0,32^b$	$8,70 \pm 0,43^b$
MB	$47,15 \pm 0,19^b$	$2,04 \pm 0,15^a$	$9,99 \pm 0,06^a$	$11,80 \pm 0,04^a$
C	$48,17 \pm 1,86^b$	$-0,02 \pm 0,40^b$	$6,24 \pm 0,74^b$	$7,97 \pm 0,47^b$
CB	$50,11 \pm 0,14^{ab}$	$2,80 \pm 0,08^a$	$10,23 \pm 0,20^a$	$11,91 \pm 0,21^b$

*Farklı üst simgeler, istatistiksel olarak anlamlı farklılığı göstermektedir.

4.8 Emülsiyon Stabilitesi

Faz ayrılma analizine göre, defne uçucu yağı emülsiyonları, ilk 24 saat boyunca herhangi bir faz ayrılması göstermemiştir. Bu durum, her iki yöntemle üretilen emülsiyonların kısa vadede fiziksel olarak stabil kaldığını göstermektedir.

Ancak zamanla bu stabilitenin azaldığı gözlemlenmiştir. 72. saat itibarıyla, her iki grupta da faz ayrılması başlamış; emülsiyon A (dolgulu)'da ortalama 1,00 mL, emülsiyon B (ağsı)'de ise 1,25 mL ayrılan faz tespit edilmiştir. Erken dönemdeki bu fark sınırlı olmakla birlikte, ilerleyen saatlerde daha belirgin hale gelmiştir.

Özellikle 240. saatte, dolgulu emülsiyonlarında ortalama 10,43 mL, ağsı emülsiyonlarında ise 5,50 mL faz ayrılması gözlemlenmiştir. 360. saatte, bu değerler sırasıyla 15,00 mL ve 7,17 mL olmuştur.

Bu bulgular, dolgulu yöntemiyle hazırlanan emülsiyonların ilk etapta daha stabil bir yapı sunduğunu, ancak uzun süreli depolamada daha fazla faz ayrışmasına maruz kaldığını göstermektedir. Buna karşılık, ağsı yöntemiyle hazırlanan emülsiyonlar, zaman içerisinde daha düşük oranlarda faz ayrılması ile daha yüksek uzun vadeli fiziksel stabilite sunmuştur.

Sonuç olarak, elde edilen veriler ağsı yöntemiyle hazırlanan defne uçucu yağı emülsiyonlarının, uzun süreli saklama koşullarında dolgulu yöntemine kıyasla daha kararlı bir dispersiyon sağladığını göstermektedir.

Çizelge 4.5: Farklı emülsiyonların faz ayrım süreleri.

Zaman (saat)	Emülsiyon A (mL)	Emülsiyon B (mL)
5	Ayrılmadı	Ayrılmadı
24	Ayrılmadı	Ayrılmadı
72	1,00	1,25
96	2,25	3,00
240	5,50	10,43
360	7,17	15,00

Martins ve diğ. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada Span 85 ile yapılan emülsiyon 15 gün boyunca %1'in üstünde faz ayrımı vermediği sonucuna ulaşılmıştır. Emülsiyon stabilitesi genellikle kullanılan yüzey aktif maddenin yapısal özellikleri, konsantrasyonu ve sistemin HLB (hidrofilik–lipofilik denge) değerine bağlı olarak şekillenmektedir. Özellikle Span 85 gibi çok dallı hidrofobik yapıya sahip yüzey aktif maddeler, düşük konsantrasyonlarda zayıf su fazı etkileşimi nedeniyle yetersiz yüzey örtünmesi sağlayarak düşük zamanlı stabilite (<20 dk) ile sonuçlanmaktadır. Bu durum, emülsiyonun fiziksel kararlılığının bozulmasına neden olmaktadır. Buna karşılık, yüksek konsantrasyonlarda (örneğin 8 g/L) Span 85 kullanımı, ters misel oluşumu ile yüksek stabilite (15 gün) sağlayarak emülsiyon tipinin W/O'dan O/W'ye dönüşmesine neden olabilmektedir (Guo ve diğ, 2012).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, defne uçucu yağının mikroenkapsülasyonu amacıyla kullanılan iki farklı jelasyon tekniği olan dolgulu (iç jelasyon) ve ağsı (dış jelasyon) yöntemlerin, bal mumu kaplamasıyla birlikte mikrokapsül özellikleri üzerindeki etkileri kapsamlı biçimde incelenmiştir. Her iki yöntemle hazırlanan mikrokapsüller, fiziksel stabilite, salım kinetiği ve yapısal özellikler bakımından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, her iki enkapsülasyon tekniğinin farklı avantajlara sahip olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle dolgulu (iç jelasyon) yöntem, daha kontrollü ve yavaş salım profili sağlayarak uçucu yağın çevresel etkenlere karşı daha uzun süre korunmasına olanak tanımıştır. Buna karşılık, ağsı (dış jelasyon) yöntemiyle elde edilen kapsüller, daha yüksek fiziksel stabilite sunmuş ve uzun süreli depolama koşullarına karşı daha dayanıklı bir yapı sergilemiştir. Her iki kapsülleme yönteminde bal mumu kaplama uygulanması, uçucu yağ kaybını belirgin biçimde azaltmış ve kapsüllerin oksidatif dayanımını artırmıştır. Ayrıca, depolama sıcaklığının artmasıyla birlikte tüm kapsüllerde salım hızının yükseldiği ve buna bağlı olarak kapsül ömrünün azaldığı gözlemlenmiştir. Bu bulgular, dolgulu (iç jelasyon) yöntemin özellikle yavaş ve kontrollü salım gerektiren uygulamalarda avantaj sunduğunu; ağsı (dış jelasyon) yöntemin ise uzun vadeli fiziksel stabilitenin öncelikli olduğu durumlar için daha uygun olduğunu göstermektedir. Gelecek çalışmalarda bal mumu kaplamanın farklı ortam koşullarındaki uzun vadeli etkileri değerlendirilmeli; farklı polimer ve kapsül malzemeleriyle sistem performansı optimize edilmelidir. Ayrıca, alternatif enkapsülasyon tekniklerinin ve biyoyoumluluk analizlerinin yapılması, bu kapsül sistemlerinin gıda, ilaç ve kozmetik gibi çeşitli sektörlerde kullanım potansiyelini artıracaktır. Sonuç olarak, bu çalışma defne uçucu yağının mikroenkapsülasyon yoluyla korunması ve kontrollü salımı açısından önemli katkılar sunmakta, dolgulu ve ağsı yöntemlerin farklı amaçlara yönelik olarak nasıl stratejik biçimde kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

- Abreu, F. O. M. S., Bianchini, C., Forte, M. M. C., Kist, T. B. L.** (2008). Influence of the composition and preparation method on the morphology and swelling behavior of alginate–chitosan hydrogels. *Carbohydrate Polymers*, (74), 283–289.
- Acosta, E.** (2009). Bioavailability of nanoparticles in nutrient and nutraceutical delivery. *Current Opinion in Colloid, Interface Science*, (14), 3–15.
- Alejo-Armijo, A., Altarejos, J., Salido, S.** (2017). Phytochemicals and biological activities of laurel tree (*Laurus nobilis*). *Natural Product Communications*, 12(5), 743-757.
- Anonim.** (2016). T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü, *Defne Eylem Planı*, 2016-2020.
- Arslan, N., Baydar, H., Kızıl, S., Karık, Ü., Şekeroğlu, N., Gümüşçü, A.** (2015). Tıbbi ve aromatik bitkiler üretiminde değişimler ve yeni arayışlar. *Türkiye Ziraat Mühendisliği VIII. Teknik Kongresi*, 483-507.
- Aziz, Z. A., Ahmad, A., Setapar, S. H. M., Karakucuk, A., Azim, M. M., Lokhat, D., Ashraf, G. M.** (2018). Essential oils: extraction techniques, pharmaceutical and therapeutic potential—a review. *Current Drug Metabolism*, 19(13), 1100-1110.
- Aydın, Ö., Ünlüel, İ.** (2021). Enkapsülasyon teknikleri ve kontrollü salım. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (32), 640-648.
- Bakhteyar, H., Cassone, C., Kohan, H. G., Sani, S. N.** (2021). Kinetic analysis of drug release from compounded slow-release capsules of Liothyronine Sodium (T3). *International Journal of Pharmaceutical Compounding*, 21(5), 418-426.
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., Idaomar, M.** (2008). Biological effects of essential oils—a review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446-475.
- Baser, K. H. C., Buchbauer, G.** (2010). *Handbook of Essential Oils: Science, Technology, and Applications*. CRC Press.
- Bayrak, A.** (2006). Gıda Aromaları. *Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları*, (32), Ankara.
- Baytöre, F.** (2014). *Yalova ilinde farklı yüksekliklerde doğal olarak yetişen defne (Laurus nobilis L.) populasyonlarında bazı morfolojik ve kalite özellikleri ile ontogenetik varyabilitenin belirlenmesi*. (Doktora Tezi), Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.

- Bilal, T., Keser, O., Abař, İ.** (2008). Esans yağların hayvan beslemede kullanılması. *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakóltesi Dergisi*, 5(1), 41-50.
- Burgain, J., Gaiani, C., Linder, M., Scher, J.** (2011). Encapsulation of probiotic living cells: From laboratory scale to industrial applications. *Journal of Food Engineering*, 104(4), 467–483.
- Burt, S.** (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223-253.
- Caputo, L., Nazzaro, F., Souza, L. F., Aliberti, L., De Martino, L., Fratianni, F., Coppola, R., De Feo, V.** (2017). *Laurus nobilis*: Composition of essential oil and its biological activities. *Molecules*, 22(6), 930.
- Celik, K.** (2011). *Bazı endemik bitkilerin uçucu yağ bileşenlerinin ekstrakte edilmesi ve içeriklerinin araştırılması*. (Yüksek lisans tezi). Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Chahal, K. K., Bansal, R., Kaur, R.** (2016). Chemistry and insecticidal potential of bay leaf essential oil against stored grain pest of wheat. *Journal of Applied and Natural Science*, 8(4), 2049-2054.
- Chahal, K. K., Kaur, M., Bhardwaj, U., Singla, N., Kaur, A., Kaur, M., Kaur, A.** (2017). A review on chemistry and biological activities of *Laurus nobilis* L. essential oil. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(4), 1153-1161.
- Chouhan, S., Sharma, K., Guleria, S.** (2017). Antimicrobial activity of some essential oils present status and future perspectives. *Medicines*, 4(3), 58.
- Çabuk, M., Alçiçek, A., Bozkurt, M., İmre, N.** (2003). Aromatik bitkilerden elde edilen uçucu yağların antimikrobiyel özellikleri ve alternatif yem katkı maddesi olarak kullanım imkânı. *II. Ulusal Hayvan Besleme Kongresi*, 184–187.
- Çekin, Ö. N.** (2024). *Ambalajlı ve açıkta satılan beyaz peynir örneklerinin tuz içerikleri ile bazı fizikokimyasal ve tekstürel özellikleri*. (Yüksek lisans tezi). Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur.
- Deasy, P. B.** (1984). *Microencapsulation and Related Drug Processes*. New York: Marcel Dekker.
- Demircan, H., Oral, R. A.** (2023). Parameters affecting calcium-alginate bead characteristics: viscosity of hydrocolloids and water solubility of core material. *International Journal of Biological Macromolecules*, (236), 124011.
- Dobroslavić, E., Repajić, M., Dragović-Uzelac, V., Elez Garofulić, I.** (2022). Isolation of *Laurus nobilis* leaf polyphenols: A review on current techniques and future perspectives. *Foods*, 11(2), 235.
- Dobroslavić, E., Zorić, Z., Dragović-Uzelac, V., Elez Garofulić, I.** (2023). Microencapsulation of *Laurus nobilis* L. Leaf extract in alginate-based system via electrostatic extrusion. *Foods*, 12(17), 3242.

- Duke, J. A.** (2002). *Handbook of Phytochemical Constituents of GRAS Herbs and Other Economic Plants*, CRC Press.
- El, S. N., Karagozlu, N., Karakaya, S., Sahin, S.** (2014). Antioxidant and antimicrobial activities of essential oils extracted from *Laurus nobilis* L. leaves by using solvent-free microwave and hydrodistillation. *Food and Nutrition Sciences*, 5(2).
- El-Toni, A. M., Habila, M. A., Labis, J. P., ALOthman, Z. A., Alhoshan, M., Elzatahry, A. A., Zhang, F.** (2016). Design, synthesis and applications of core-shell, hollow core, and nanorattle multifunctional nanostructures. *Nanoscale*, 8(5), 2510-2531.
- Erden, Ü.** (2005). *Akdeniz defnesi (Laurus nobilis L.)'nde mevsimsel varyabilite ve optimal kurutma yöntemlerinin araştırılması*. (Yüksek lisans tezi). Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Erfani, A., Pirouzifard, M. K., Almasi, H., Gheybi, N., Pirs, S.** (2022). Application of cellulose plate modified with encapsulated Cinnamomum zelanicum essential oil in active packaging of walnut kernel. *Food Chemistry*, (381), 132246.
- Evren, M., Tekgüler, B.** (2011). Uçucu yağların antimikrobiyal özellikleri. *Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi*, 9(3), 28-40.
- Fang, Z., Bhandari, B.** (2010). Encapsulation of polyphenols - a review. *Trends in Food Science and Technology*, (21), 510-523.
- Fairhurst, D., Loxley, A.** (2019). Micro- and nano-encapsulation of water- and oil-soluble actives for cosmetic and pharmaceutical applications. Lubrizol CDMO.
- Fernandez, C. M. M., da Rosa, M. F., Fernandez, A. C. A. M., Lorenzetti, F. B., Raimundo, K. F., Cortez, D. A. G., Gazim, Z. C.** (2018). Larvicidal activity against *Aedes aegypti* of essential oil of *Laurus nobilis* leaves obtained at different seasons. *Journal of Essential Oil Research*, 30(5), 379-387.
- Gazori, T., Khoshayand, M. R., Azizi, E., Yazdizade, P., Nomani, A., Haririan, I.** (2009). Evaluation of alginate/chitosan nanoparticles as antisense delivery vector: Formulation, optimization and in vitro characterization, *Carbohydrate Polymers*, (77), 599-606.
- George, M., Abraham, T. E.** (2006). Polyionic hydrocolloids for the intestinal delivery of protein drugs: Alginate and chitosan-a review, *Journal of Controlled Release*, (114), 1-14.
- Gonnet, M., Lethuaut, L., Boury, F.** (2010). New trends in encapsulation of liposoluble vitamins, *Journal of Controlled Release*, (146), 276-290.
- Gong, R., Li, C., Zhu, S., Zhang, Y., Du, Y., Jiang, J.** (2011). A novel pH-sensitive hydrogel based on dual crosslinked alginate/N-a-glutaric acid chitosan for oral delivery of protein, *Carbohydrate Polymers*, (85), 869-874.
- Gouin, S.** (2004). Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends, *Trends in Food Science, Technology*, (15), 330-347.

- González-Rivera, J., Duce, C., Falconieri, D., Ferrari, C., Ghezzi, L., Piras, A., Tine, M. R.** (2016). Coaxial microwave assisted hydrodistillation of essential oils from five different herbs (lavender, rosemary, sage, fennel seeds and clove buds): Chemical composition and thermal analysis. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, (33), 308-318.
- Goto, M., Otles, S., Askin, R.** (2005). Karabaş otu'nun süperkritik ekstrasyonu *Lavandula stoechas* spp. *Akademik Gıda*, 3(1), 26-30.
- Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., Saurel, R.** (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview, *Food Research International*, 40(9), 1107–1121.
- Guo, Q.** (2012). *Surfactants in nonpolar oils: Agents of electric charging and nanogel templates* (Doktora tezi). *Georgia Institute of Technology*, USA.
- Güngör, Ö., Zungur, A., Koç, M., Kaymak-Ertekin, F.** (2013). Emülsiyonların özellikleri ve emülsifikasyon koşullarının aroma ve yağların mikroenkapsülasyonu üzerine etkisi, *Akademik Gıda*, 11(2), 116–124.
- Haouel-Hamdi, S., Hamedou, M. B., Bachrouch, O., Boushih, E., Zarrouh, Y., Sriti, J., Messaoud, C., Hammami, M., Abderraba, M., Limam, F., Mediouni-Ben Jemâa, J.** (2020). Susceptibility of *Tribolium castaneum* to *Laurus nobilis* essential oil and assessment on semolina quality. *International Journal of Tropical Insect Science*, (40), 667–675.
- Hanif, M. A., Nisar, S., Khan, G. S., Mushtaq, Z., Zubair, M.** (2019). Essential oils. *Essential Oil Research*, 3–17.
- Hassiotis, C. N.** (2010). Chemical compounds and essential oil release through decomposition process from *Lavandula stoechas* in Mediterranean region. *Biochemical Systematics and Ecology*, 38(4), 493-501.
- Huang, Q., Mills, T., Zhang, Z.** (2025). The effect of core oil on the encapsulation efficiency and mechanical properties of microcapsules prepared using complex coacervation followed by spray drying/coating. *International Journal of Food Science and Technology*, 60(1), vvae005.
- Isman, M. B.** (2020). Bioinsecticides based on plant essential oils: A short overview. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 75(7-8), 179-182.
- Isman, M. B.** (2020). Commercial development of plant essential oils and their constituents as active ingredients in bioinsecticides. *Phytochemistry Reviews*, (19), 235–241.
- Jafari, S. M., Assadpoor, E., He, Y., Bhandari, B.** (2008). Re-coating to improve encapsulation efficiency of food ingredients powder by spray drying. *Drying Technology*, 26(9), 1193-1201.
- Jyothi, N. V., Prasanna, P. M., Sakarkar, S. N., Prabha, K. S., Rao, N. R., Nasreen, K.** (2010). Microencapsulation techniques, factors

influencing encapsulation efficiency, and applications in food and pharmaceutical sciences, *Journal of Food Science*, 75(1), 57–70.

- Karaoğlu, E., Ertaş, M., Altuntaş, E., Alma, M. H.** (2012). Karadeniz ve Akdeniz bölgesinde yetişen defne (*Laurus nobilis*)’nin kimyasal içeriği, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi*, Özel Sayı, 74.
- Karık, Ü., Çiçek, F., Oğur, E., Tutar, M., Ayas, F.** (2015). Türkiye defne (*Laurus nobilis* L.) popülasyonlarının uçucu yağ bileşenleri, *Anadolu*, 1-16.
- Karık, Ü., Çiçek, F., Erdinç, O., Tutar, M., Ayas, F.** (2016). Türkiye’de yayılış gösteren defne (*Laurus nobilis* L.) Popülasyonlarının meyve özellikleri. *Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 26(1), 1-16.
- Kavaklı, Ş.** (2012). *Ege Bölgesi doğal defne popülasyonunda genetik farklılıkların belirlenmesi* (Doktora tezi). Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Kandemir, İ.** (2022). *Mikrokapsül üretimi ile tekstil yüzeylerinin ısı özelliklerinin iyileştirilmesi* (Yüksek lisans tezi). Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Kaya, M., Demir, H.** (2018). Esansiyel yağların mikrokapsülasyonu ve uygulamaları. *Gıda Bilimi ve Teknolojisi Dergisi*, 32(4), 245-260.
- Kılıç, A., Hafizoglu, H., Kollmannsberger, H., Nitz, S.** (2004). Volatile constituents and key odorants in leaves, buds, flowers, and fruits of *Laurus nobilis* L. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(6), 1601-1606.
- Kılınç, M.** (2021). *Mikroenkapsüle L. acidophilus ilave edilerek üretilen dondurmaların depolanması sırasında bazı fizikokimyasal, tekstürel, termal ve mikroyapısal özelliklerindeki değişimlerin belirlenmesi* (Doktora tezi). Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar.
- Lee, P.S., Yim, S.G., Choi, Y., Van Anh Ha, T., Ko, S.** (2012). Physiochemical properties and prolonged release behaviours of chitosan-denatured β -lactoglobulin microcapsules for potential food applications, *Food Chemistry*.
- Luo, Y., Zhang, B., Whent, M., Yu, L., Wang, Q.** (2011). Preparation and characterization of zein/chitosan complex for encapsulation of α -tocopherol, and its in vitro controlled release study, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, (85), 145–152.
- Martins, E. T., Poncelet, D., & Renard, D.** (2017). A novel method of oil encapsulation in core-shell alginate microcapsules by dispersion-inverse gelation technique. *Reactive and Functional Polymers*, (114), 49-57.
- Matalanis, A., Jones, O.G., McClements, D.J.** (2011). Structured biopolymerbased delivery systems for encapsulation, protection, and release of lipophilic compounds, *Food hydrocolloids*, (25), 1865-1880.
- McClements, D.J.** (2009). Structural design principles for improved food performance: nanolaminated biopolymer structures in foods. In:

micro/nanoencapsulation of active food ingredients, Eds. Huang, Q., Given, P., Qian, M. Washington, DC: *American Chemical Society*, (1), 4-7.

- McClements, D.J., Li, Y.** (2010). Structured emulsion-based delivery systems: Controlling the digestion and release of lipophilic food components, *Advances in Colloid and Interface Science*, (159), 213-228.
- McIntosh, F. M., Williams, P., Losa, R., Wallace, R. J., Beever, D. A., Newbold, C. J.** (2003). Effects of essential oils on ruminal microorganisms and their protein metabolism, *Applied and Environmental Microbiology*, 69(8), 5011–5014.
- Mediouni-Ben Jemâa, J., Tersim, N., and Khouja, M.L.** (2011). Composition and repellent efficacy of essential oil from *Laurus nobilis* against adults of the cigarette beetle *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae). *Tunisian Journal of Plant Protection*, (6), 29-41.
- Mediouni-Ben Jemâa, J., Tersim, N., Toudert, K. T., Khouja, M. L.** (2012). Insecticidal activities of essential oils from leaves of *Laurus nobilis* L. from Tunisia, Algeria and Morocco, and comparative chemical composition, *Journal of Stored Products Research*, (48), 97–104.
- Mciver, B.** (2005). Encapsulation of flavour and/or fragrance composition. *U.S. Patent*, (6).932.982.
- Mishra S., Keswani C., Abhilash P. C., Fraceto L. F., Singh H. B.** (2017). Integrated approach of agri-nanotechnology: challenges and future trends. *Front Plant Science*, (8), 471
- Moghtader, M., Farahm, A.** (2013). Evaluation of the antibacterial effects of essential oil from the leaves of *Laurus nobilis* L. in Kerman Province. *Journal of Microbiology and Antimicrobials*, 5(2), 13-17.
- Nazzaro, F., Fratianni, F., De Martino, L., Coppola, R., De Feo, V.** (2013). Effect of essential oils on pathogenic bacteria. *Pharmaceuticals*, 6(12), 1451-1474.
- Nualkaekul, S., Lenton, D., Cook, M.T., Khutoryanskiy, V.V., Charalampopoul, D.** (2012). Chitosan coated alginate beads for the survival of microencapsulated *Lactobacillus plantarum* in pomegranate juice. *Carbohydrate Polymers*. 90(3), 1281–1287.
- Odabaş, M, T.** (2019). *Ohmik ısıtma destekli hidrodistilasyon yöntemi ile karanfil, tarçın ve defne esansiyel yağlarının elde edilmesi ve enkapsülasyonu.* (Doktora Tezi), Ondokuz Mayıs Üniversitesi, (76), 41-80.
- Oral, R. A.** (2017). New perspectives for the encapsulation of hydrophilic compounds. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(1), e12967.
- OGM.** (2022). Defne Eylem Planı (2022-2026). Tarım ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü Yayınları.
- Ouibrahim, A., Tlili-Ait-kaki, Y., Bennadja, S., Amrouni, S., Djahoudi, A. G., Djebbar, M. R.** (2013). Evaluation of antibacterial activity of *Laurus nobilis* L., *Rosmarinus officinalis* and *Ocimum basilicum* from Northeast of Algeria. *African Journal of Microbiology Research*, 7(42), 4968-4973.

- Öztürk, A., Yılmaz, B.** (2023). *Ohmik ısıtma destekli hidrodistilasyon yöntemi ile karanfil, tarçın ve defne esansiyel yağlarının elde edilmesi ve enkapsülasyonu*. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, (79), 73-88.
- Paparella, A., Nawade, B., Shaltiel-Harpaz, L., and Ibdah, M.** (2022). A review of the botany, volatile composition, biochemical and molecular aspects, and traditional uses of *Laurus nobilis*. *Plants*, 11(9), 1209.
- Pavela, R.** (2015). Essential oils for the development of eco-friendly mosquito larvicides: A review. *Industrial Crops and Products*, (76), 174-187.
- Perrechil, F.A., Sato, A.C.K., Cunha, R.L.,** (2011). κ -Carrageenan - sodium caseinate microgel production by atomization: Critical analysis of the experimental procedure, *Journal of Food Engineering*, (104), 123-133.
- Porzio, M.** (2008). Melt extrusion and melt injection. *Perfumer Flavorist*, (33), 48–53.
- Ramos, C., Teixeira, B., Batista, I., Matos, O., Serrano, C., Neng, N. R., Marques, A.** (2012). Antioxidant and antibacterial activity of essential oil and extracts of bay laurel *Laurus nobilis* Linnaeus (Lauraceae) from Portugal. *Natural Product Research*, 26(6), 518-529.
- Reyes-Jurado, F., Franco-Vega, A., Ramírez-Corona, N., Palou, E., López-Malo, A.** (2015). Essential oils: antimicrobial activities, extraction methods, and their modeling. *Food Engineering Reviews*, 7(3), 275-297.
- Richter, J., Schellenberg, I.** (2007). Comparison of different extraction methods for the determination of essential oils and related compounds from aromatic plants and optimization of solid-phase microextraction/gas chromatography. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 387(6), 2207-2217.
- Rios, J., L.** (2016). Essential oils: What they are and how the terms are used and defined. In *Essential oils in Food Preservation, Flavor and Safety* (pp. 3-10). Academic Press.
- Said, C. M., Hussein, K.** (2014). Determination of the chemical and genetic differences of *Laurus* collected from three different geographic and climatic areas in Lebanon. *European Scientific Journal*, (2), 412-419.
- Said-Al Ahl, H. A., Hikal, W. M., Tkachenko, K. G.** (2017). Essential oils with potential as insecticidal agents: A review. *International Journal of Environmental Planning and Management*, (3), 23-33.
- Salehi, T., Karimi, J., Hasanshahi, G., Askarianzadeh, A., Abbasipour, H., Garjan, A. S.** (2014). The effect of essential oils from *Laurus nobilis* and *Myrtus communis* on the adults of 40 mediterranean flour moth, *Ephestia kuehniella* Zeller (Lep.: Pyralidae). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 17(4), 553-561.
- Shi, P., He, P., Teh, T.K.H., Morsi, Y.S., Goh, J.C.H.** (2011). Parametric analysis of shape changes of alginate beads, *Powder Technology*, (210), 60-66.
- Smith-Palmer, A., Stewart, J., Fyfe, L.** (2002). Inhibition of listeriolysin o and phosphatidylcholine-specific production in *listeria monocytogenes* by

- subinhibitory concentrations of plant essential oils. *Journal of Medical Microbiology*, 51(7), 567-608.
- Sriamornsak, P.**, (1999). Effect of calcium concentration, hardening agent and drying condition on release characteristics of oral proteins from calcium pectinate gel beads, *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, (8), 221–227.
- Şahan, Z.** (2012). *Bazı bitki uçucu yağlarının enerji, protein ve lif kaynağı yemlerin in vitro gerçek sindirilebilirliğine ve yüksek verimli süt sığırlarında süt verimi ve süt kompozisyonlarına etkileri*. (Doktora Tezi), Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Şahin, F., Karaman, S.** (2017). "Defne yağının kimyasal bileşimi ve antibakteriyel etkisi", *Journal of Essential Oil Research*, 29(3), 215-221.
- Tanker, M., Tanker, N.**, (1990). *Farmakognozi*, Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınları 65(2).
- Thies, C.** (2005). "Microencapsulation", *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, Wiley.
- Tometri, S. S., Ahmady, M., Ariaii, P., Soltani, M. S.** (2020). Extraction and encapsulation of *Laurus nobilis* leaf extract with nano-liposome and its effect on oxidative, microbial, bacterial and sensory properties of minced beef. *Journal of Food Measurement and Characterization*, (14), 3333-3344.
- Tongnuanchan, P., Benjakul, S.** (2014). Essential oils: extraction, bioactivities, and their uses for food preservation. *Journal of food science*, 79(7), R1231-R1249.
- Topal, E., Ceylan, Ö., Kösoğlu, M., Mărgăoan, R., Cornea-Cipcigan, M.** (2020). Bal mumunun yapısı, kullanım alanları ve bazı temel sorunları, (Structure, Usage Areas and Main Problems of Bees Wax), *U.Arı.D.-U.Bee.J.* 20(2), 209-220
- Tümekaya, S., Kırkpınar, F.** (2017). Mikrokapsül uygulanmış kumaşı chitosan ile kaplamanın mikrokapsüllerin yıkama dayanımı üzerine etkileri. *İTÜ Dergisi*, 1(2), 45-59.
- Türköz, M., Özkan, G., Çelik, E.** (2020). Defne (*Laurus nobilis*) uçucu yağının özellikleri ve potansiyel kullanımları. *Bitkisel Yağlar Dergisi*, 12(4), 325-332.
- Ultee, A., Kets, E. P. W., Smid, E. J.** (1999). Mechanisms of action of carvacrol on the food-borne pathogen bacillus cereus. *Applied And Environmental Microbiology*, 65(10), 4606-4610.
- Varhan, E., Koç M.** (2018). Gıda Bileşenlerinin Sprey Soğutma Yöntemi ile Enkapsülasyonu. *Food and Health*, 4(3), 202-212.
- Vardapetyan, H., Tiratsuyan, S., Hovhannisyan, A., Rukhkyan, M., Hovhannisyan, D.** (2013). Phytochemical composition and biological activity of *Laurus nobilis* L. leaves collected from two regions of South Caucasus. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 1(2), 45-51.

- Vidhyalakshmi, R., Bhakayaraj, R., Subhasree, R.S.** (2009). Encapsulation “the future of probiotics”-a review, *Advances in Biological Research*, 3(3-4), 96-103.
- Vos, P., Faas, M. M., Spasojevic, M., Sikkema, J.** (2010). Encapsulation for preservation of functionality and targeted delivery of bioactive food components, *International Dairy Journal*, 20, 292-302.
- Wang, X., Li, X., Chen, L., Xie, F., Yu, L., Li, B.** (2009). Preparation and characterisation of octenyl succinate starch as a delivery carrier for bioactive food components, *Food Chemistry*, (126), 1218-1225.
- Wang, Y., Zhang, L. T., Feng, Y. X., Zhang, D., Guo, S. S., Pang, X., Geng, Z.F., Xi, C., Du, S.S.** (2019). Comparative evaluation of the chemical composition and bioactivities of essential oils from four spice plants (Lauraceae) against stored-product insects. *Industrial Crops and Products*, (140), 111640.
- Wong, T.W., Chan, L.W., Kho, S.B., Heng, P.W.S.** (2002). Design of controlled release solid dosage forms of alginate and chitosan using microwave, *Journal of Controlled Release*, (84), 99–114.
- Yadav, S.C., Kumari, A., Yadav, R.** (2010). Development of peptide and protein nanotherapeutics by nanoencapsulation and nanobioconjugation, *Peptides*. 32(1), 173–187.
- Yoo, S., Song, Y., Chang, P. L., Lee, H.G.,** (2006). Microencapsulation of α -tocopherol using sodium alginate and its controlled release properties, *International Journal of Biological Macromolecules*, (38), 25–30.
- Zasyplin, D., Porzio, M.** (2004). Glass encapsulation of flavours with chemically modified starch blends. *J. Microencapsulation*, (21) 385–397.
- Zuidam, N. J., Shimoni, E.** (2010). Overview of microencapsulates for use in food products and processes and methods to make them. In: n.j. zuidam and v.a. nedović (eds.), *Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing*, 3-29.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-SOYAD : Zeyid ELMAHLUL

E-posta :

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2022, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği, Bölüm Birinciliği İle Mezuniyet (2022).
- Tamira Foods – Gıda Mühendisi (2022 – 2023).
- Fenerbahçe D/G İstasyon Komutanlığı – Kalite Kontrol Müdürü (2023 – 2024).
- Extreme Delight Chocolate – Kalite Kontrol Müdürü (2024 – Devam ediyor).

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Zeyid Elmahlul, “Microencapsulation of Laurel (*Laurus nobilis*) Essential Oil as Matrix and Core Shell by Ionic Gelation Method: Effect of Wax Coating on Diffusion Rate”, *4th International Uludağ Scientific Research Congress*, 16–17 Kasım 2024, Bursa, Türkiye.

DİĞER ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

-
-
-