



Gıda sanayiinde kullanılan uçucu yağların mikrokapsülasyon uygulamaları

Microencapsulation applications of essential oils used in food industry

Sevi BOSNALI¹ , Özgül ÖZDESTAN OCAK^{2*} 

^{1,2}Gıda Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
sevibosnali@hotmail.com, ozgulozdestan@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 26.06.2018, Kabul Tarihi/Accepted: 26.11.2018

doi: 10.5505/pajes.2018.45336

* Yazışılan yazar/Corresponding author

Derleme Makalesi/Review Article

Öz

Aromatik, esans veya eteri yağlar olarak da adlandırılan uçucu yağlar, bitkilerden elde edilen güçlü kokulu yağa benzer sıvılardır. Son yıllarda tüketicilerin doğal ürünlere artan talebi doğrultusunda uçucu yağlar, sentetik katkı maddeleri yerine doğal, çevre dostu ve birçok anlamda faydası olan alternatif bir seçenektir. İçerdikleri uçucu bileşenlerin kolayca çevre koşullarından etkilenerek kaybolması mikrokapsülasyon teknolojisi ile çözüm bulmuştur. Mikrokapsülasyon uçucu yağlara bir kalkan oluşturarak stabilitesinin korunması, raf ömrünün artması, kontrollü salınımının sağlanması, tat ve kokunun maskelenmesi, taşınma kolaylığı, besinsel kaybının azaltılması gibi birçok avantaj sağlamaktadır. Püskürtmeli kurutucu, koaservasyon, ekstrüzyon, akışkan yatakta kaplama, süperkritik akışkan yöntemi gibi çeşitli tekniklerle uygulanan mikrokapsülasyon gıda sanayii başta olmak üzere tekstil, eczacılık, kimya, yem, veterinerlik, biyoteknoloji, tıp gibi birçok alanda kullanımı yaygındır. Bu derleme, uçucu yağların önemini belirtirken mikrokapsülasyon sayesinde kazanılan artılara dikkat çekerek mikrokapsüllerin hazırlanma tekniklerini ve kaplama materyallerinin seçimini, gıda sanayiindeki uygulamaları gözler önüne sererek açıklamaktadır.

Anahtar kelimeler: Mikrokapsülasyon, Uçucu yağlar, Mikrokapsülasyon yöntemleri

Abstract

Essential oils, also called aromatic, essential or ether oils, are liquids similar to strong scented oils obtained from plants. In line with the increasing demand of consumers in natural products in recent years volatile oils, which are natural, environmentally friendly and useful in many ways, are an alternative option to synthetic additives. It founded a solution with the microencapsulation technology that the volatile components they contain are easily affected by environmental conditions. Microencapsulation provides many advantages such as preservation of stability by stabilizing the essential oils, increasing shelf life, ensuring controlled release, masking taste and odor, ease of transport, reduction of nutritional loss. Microencapsulation applied by various techniques such as spray drying, coacervation, extrusion, fluid bed coating, supercritical fluid method is widely used in many fields such as mainly food industry, textile, pharmaceutical, chemical, feed, veterinary, biotechnology, medicine. This review axioms the importance of essential oils, highlighting the benefits gained by microencapsulation, explaining the preparation techniques of microcapsules and the selection of coating materials, taking into account applications in the food industry.

Keywords: Microencapsulation, Essential oils, Microencapsulation techniques

1 Giriş

Ülkemizde iklim değişiklikleri bitki topluluklarının dağılımı üzerinde etkili olmuştur. Ülkemiz ekolojik ve fitocoğrafik farklılaşmanın sonucu olarak endemik türler bakımından çok zengindir. Avrupa'daki 2500 endemik bitki türüne karşılık, tek başına Türkiye'de 3000 endemik tür vardır [1]. Dünyanın çeşitli alanlarına ait olan türler bambaşka yerlerde yetiştirilmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), insanların %60 kadarının genel sağlığının bitkilere dayalı olduğunu belirtmektedir [2].

Geçtiğimiz yıllarda antibiyotiklere karşı dayanıklı suşların keşfedilmesi ve sentetik ilaçlarda dikkati çekecek kadar çok görülen yan etkilerin ortaya çıkması, bilim adamlarını doğal kaynaklardan benzer etkileri sağlayabilmek adına araştırmalara yöneltmiştir [3]. Birçok bilim adamı tarafından çeşitli tıbbi bitkiler tanımlanmış ve çoğunun etkileri kanıtlanmıştır [4].

Tıbbi ve aromatik bitkiler, içerdikleri biyoaktif (etken) maddeler nedeniyle kültürü yapılan bitkilerdir [5]. Tıbbi ve aromatik bitkilerin önemini belirleyen ana unsur, içerdikleri biyoaktif maddelerdir. Ülkemiz bilhassa uçucu yağ içeren bitkiler açısından oldukça çeşitlilik içeren bir flora sahiptir. Tüm bu çeşitlilik içerisinde ülkemizde ticari olarak çok uçucu yağ üretimi gül bitkisinden sağlanmaktadır [6].

Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO)'nın 91 ülke genelinde yaptığı araştırmaya göre tedavi etmek için yararlanılan tıbbi bitki miktarı 20 000 civarındadır. Bunların 4 000 kadarı bitkisel drog olarak geniş bir kullanım alanına sahiptir. Avrupa'da 2000 civarında bitkisel drog ticareti yapılmaktadır [7].

Ülkemiz doğal florasında bulunan 9 000 bitki türü içerisinde 500 tanesi tıbbi amaçlarla kullanılmaktadır. Halk arasında *Ballıbabagiller* olarak bilinen, *Lamiaceae* familyasına ait olan bu bitkilerin çoğunluğu doğal olarak yetişmekte, çok az bir kısmının kültürü yapılmaktadır. Birçok alanda faydaları saymakla bitmeyen bu bitkilerin içerdikleri başta uçucu yağlar, çeşitli kimyasal bileşikler ekonomik açıdan da kıymetlidir [8].

Kıymetli olduğu kadar hassas olan uçucu bileşenlerin korunması için enkapsülasyon teknolojisi gelişmiştir. Mikrokapsülasyon ile dış faktörlere duyarlı aktif bileşenler mikro boyutlarda uygun duvar materyalleri ile kapsülendirilerek stabilize edilmektedir. Ayrıca kontrollü salınımı, sıvı veya jel formundaki partiküllere kıyasla, depolama ve taşıma işlemlerinin kolaylaşması gibi pek çok avantaj sağlamaktadır [9].

Uçucu yağların kıymetli bileşenlerinin çevre faktörlerine karşı hassas davranış sergilemesi sonucu kaybolmasını önlemek,

stabilitesini korumak, istenilen oranlarda kontrollü şekilde salımını gerçekleştirmek vb. amaçlar için mikroenkapsülasyon teknolojisi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma, gıda sektöründe yaygın olan uçucu yağlardan daha verimli yararlanabilmek adına, doğru mikrokapsül tekniği seçilerek mikroenkapsülasyon teknolojisini yaygınlaştırmak ve bu amaç doğrultusunda araştırmacılara kaynak olması için yapılmış olan bir derlemedir.

2 Uçucu yağlar

Uçucu yağlar, aromatik bitkilerde bulunan, güçlü kokularıyla bilinen, doğal, uçucu ve kompleks bileşikler olup, bitkilerden elde edilen bileşenlerdir [10],[11].

Halk arasında eteri yağ, aromatik yağ, esans yağı veya ruh gibi farklı söylemlere sahip olan bitki esansiyel yağları, bitki kimyasının önemli bileşenleri arasında görülmektedir [12].

Uçucu yağlar bitkilerin yaprak, meyve, kabuk veya kök kısımlarından elde edilen, oda sıcaklığında sıvı halde olan, kolaylıkla kristalleşebilen genellikle renksiz veya açık sarı renkli, uçucu, yoğun kokulu, doğal ürünlerdir. Su ile karışmadıkları için yağ olarak tanımlansalar da sabit yağlardan farklıdır [13].

Genellikle sudan hafif olan uçucu yağlar su ile karışmayıp sürüklenebilirler. Kırılma indeksleri genellikle yüksek olup, optikçe aktif özelliktedirler. Filtre kağıdı üzerinde leke bırakmazlar. Işık ve hava ile zamanla oksitlenmelerini ve reçineleşmelerini önlemek adına uzun süreli saklamalar için koyu renkli ağız kapalı şişelerde muhafaza edilmelidirler. Uçucu yağların yağ asidi trigliserit yapısında değildir. Sulu etanolde çözünebilme özelliğine sahip olmaları yine sabit yağlardan farklı olmalarına yol açmaktadır [14].

Uçucu yağların içeriğindeki izopren türevleri olan terpenler en önemli maddelerdir. Monoterpenler (C10), seskiterpenler (C15), diterpenler (C20), triterpenler (C30) ve bunların oksijenli türevlerine rastlanır. Aromatikler, uçucu yağlarda terpenlerden sonraki en önemli bileşiklerdir. Daha yüksek molekül yapısına sahip olanlar reçine, lateks gibi formlarda çeşitli bitkilerde görülmektedir [15].

Uçucu yağların aktivitesi bitkilerin etkisiyle karıştırılmamalıdır. Uçucu yağların,

- Antioksidan,
- Sindirim uyarıcı,
- Antifungal,
- Antiseptik,
- Antitoksijenik,
- Antiviral,
- Antibakteriyel,
- Antiparazitik,
- İnsektisidal,
- Antienflamatuvar gibi özellikleri bulunmaktadır [16].

Aromaterapik ve fitoterapik sağlık ürünlerinde uçucu yağların doğal antioksidan kaynakları olarak kullanılması gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Bitkilerin antioksidan kapasitesi ve serbest radikal tutma aktivitesi büyük oranda fenolik madde miktarına ve kompozisyonuna bağlıdır [17]-[19].

Uçucu (esansiyel) yağlar bitkilerin çeşitli kısımlarından (yaprak, meyve, kabuk ve kök) damıtma, ekstraksiyon ve presleme yoluyla elde edilen kompleks yapılarıdır [20].

Uçucu yağ eldesinde;

- Damıtma (Su ile damıtma, su buharında damıtma, vakum altında damıtma),
- Ekstraksiyon (Çözücü ekstraksiyonu, süperkritik sıvı ekstraksiyonu, mikrodalga yardımıyla ekstraksiyon, sıkıştırılmış çözücü ekstraksiyonu, katı faz mikro ekstraksiyonu, çok yönlü ekstraksiyon),
- Presleme (mekanik ekstraksiyon) yöntemleri kullanılmaktadır [21].

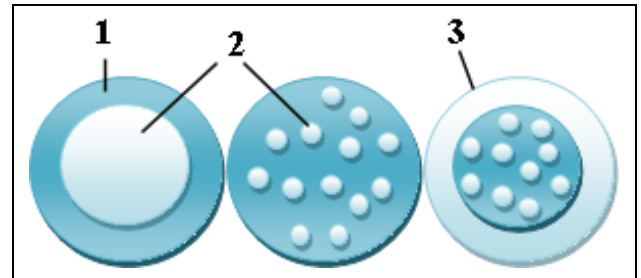
Son yıllarda uçucu yağlar, gıdanın kalitesini arttırmak, aroma vermek ve oksidasyon veya mikrobiyal aktivite sonucu meydana gelebilecek istenmeyen etkileri minimize etmek amacıyla kullanılmaktadır. Çevre koşullarına karşı kimyasal olarak stabil olmayan uçucu yağlar, hızlı bir şekilde bozunuma uğrarlar [22]. Mikroenkapsülasyon teknolojisi ile uçucu yağların uygun özellikteki katmanlar aracılığıyla kaplanarak uçuculuklarının geciktirilmesi ile içerdiği bileşenlerin korunması, sıvı gıda formunun kuru toz formlara dönüştürülmesi, raf ömrünün uzatılması, işleme, depolama ve taşıma süreçlerinde karşılaşılabilecek olası problemlerin azaltılması sağlanmaktadır [23]. Uçucu yağların mikroenkapsülasyonu ile hedeflenen değişimlerin gerçekleştirilebiliyor olması, bu yöntemin giderek artan bir öneme sahip olmasına yol açmaktadır.

3 Mikroenkapsülasyon

Mikroenkapsülasyon, her faza ait moleküllerin mikrometre boyutlarındaki duvar materyali vasıtasıyla kaplanması işlemidir [24].

Mikrokapsül oluşturulurken kaplanan materyale öz, iç faz veya dolgu isimleri verilirken, onu kaplayan materyal ise kabuk, duvar veya membran olarak adlandırılmaktadır. Bir mikrokapsülün çapı birkaç mikrometre veya birkaç milimetre büyüklüğündedir [25].

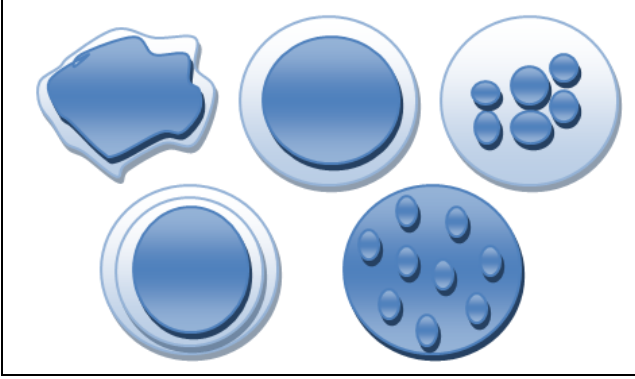
Dolgu materyali ince partikül veya damlacıklardan meydana gelirken, kaplama materyali onu sararak son şeklini almasını sağlayarak mikrokapsülü oluşturur [26]. Şekil 1'de mikrokapsülasyon yapısının şematize hali verilmektedir.



Şekil 1: Mikroenkapsül yapısının şematize hali; sırasıyla kaplama materyali (1), dolgu materyali (2), mikroenkapsül (3) [27].

Mikrokapsüller her zaman küre şeklinde olmayabilir. Kaplama materyalinin kompozisyonu, kullanılan mikroenkapsülasyon yöntemi, iç materyalin fiziko-kimyasal yapısı gibi faktörler mikrokapsül şeklini belirlemektedir [28]. Bu nedenle düzgün küre şeklinde veya düzensiz şekilde mikrokapsül oluşumu gerçekleşebilmektedir. Dolgu materyali (mikroenkapsüle edilmek istenen materyal) tek bir bütün halindeyken duvar materyali (kaplama materyali) tarafından tamamen kaplandığı

taktirde tek çekirdekli mikrokapsül elde edilmektedir. Dolgu materyali duvar materyali tarafından kaplandığında mikrokapsül içerisinde farklı kısımlarda toplandığı zaman çok çekirdekli mikrokapsül oluşmaktadır. Dolgu materyali duvar materyali tarafından kaplandığında homojen bir şekilde mikrokapsül içerisinde dağıldığı durumda da matris tipi mikrokapsül elde edilmektedir. Aşağıdaki Şekil 2'de sırasıyla düzensiz, basit küre, çok çekirdekli, çok duvarlı ve matris tipi mikrokapsül yapıları görülmektedir [29].



Şekil 2: Mikrokapsül yapıları [29].

Çekirdek maddeleri katı, sıvı, gaz, süspansiyon, emülsiyon şeklinde olabilmektedir. Kaplama maddeleri ise doğal, yarı sentetik veya sentetik polimerler olarak kullanılabilir. Aktif bileşiği dış ortamın etkilerinden koruyan kaplama materyali, uygun oranda salınımına izin vermektedir [30]. Mikroenkapsülasyonda kullanılacak olan ideal bir kaplama materyali aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır [26]:

- Dolgu materyaline karşı inert bir yapıda olmalıdır,
- Duvar genişliği istenilen seviyede olmalıdır,
- İç materyal ile uyum sağlamalıdır,
- Dolgu materyalini stabilize hale getirmelidir,
- Belirli koşullarda kontrollü salınımı gerçekleştirmelidir,
- Esnek, kırılğan, sağlam veya ince olabilir,
- Ekonomik ve basitçe temin edilebilir olmalıdır.

Aktif bileşenin doğru zamanda ve doğru yerde salınımlı ürünün işlevselliğini arttırmaktadır [31]. Enkapsülasyon işlemleri, aktif maddeyi dış etmenlerden korumayı, aktif bileşenin kararlı olmasını ve yavaş salınımını amaçlamaktadır [32],[33]. Tablo 1'de mikrokapsülleme için kullanılan polimerler gösterilmiştir.

Gıda sanayiinde mikroenkapsülasyon teknolojisinin kullanım nedenleri;

- Çekirdek materyalini korumak adına onu kapsayan ortam koşullarına karşı kalkan oluşturulması [35],
- Kaplanan materyalin stabilitesini arttırmak ve kontrollü salınımın gerçekleştirilmesi [36],
- Kaplanacak maddenin tat ve kokusunun maskelenmesi [28],
- Sıvı formdaki iç materyalin katı forma dönüştürülmesi [25],
- Kaplama ile maddenin taşınmasının kolaylaştırılması [28],
- Aktif materyalin raf ömrünün uzatılması,

- Bileşenlerin besinsel kaybının azaltılması [37],
- Gıdaların biyoaktif bileşenlerle zenginleştirilmesi [38],
- Enzim ve mikroorganizmaların immobilizasyonu,
- Çekirdek materyalinin daha iyi işlenebilirliğe sahip olması (akışkanlığının, çözünürlüğünün artması vb.),
- Tehlikeli ve toksik materyallerin güvenli bir şekilde taşınması [29],

vb. gibi nedenlerden dolayı gıda sanayiinde mikroenkapsülasyon teknolojisine başvurulmaktadır. Gıda sektörü haricinde; kimya, ziraat, yem, tıp, eczacılık, veterinerlik, biyoteknoloji gibi birçok kullanım alanı mevcuttur [33].

Tablo 1: Mikrokapsülleme için kullanılan polimerler [34].

Doğal Polimerler	Sentetik Polimerler	Yarı Sentetik Polimerler
Agar	Akrilik polimerler	Selüloz asetat
Albumin	Alifatik poliesterler	Etil selüloz
Aljinat	Karboksümetil selüloz	Hidroksipropil selüloz
Arap Zamkı	Polietilen glikol	
Dekstran	Poliamidler	
Gluten	Poli orto esterler	
Jelatin	Poliüretanlar	
Kazein	Polilizin	
Kitozan	Polistiren	
Kollajen	Polivinil alkol	
Nişasta	Polivinilpirolidon	
Mum	Selüloz ve selüloz türevleri	
Pektin	Silikonlar	
Zein	Şellak	

4 Mikroenkapsülasyon yöntemleri

Mikrokapsül elde etmek için pek çok yöntemden yararlanılmaktadır (Tablo 2). İç materyalin özellikleri, arzulan kapsül büyüklüğü, duvar materyalinin geçirgenliği vb. durumlar önemlidir.

Tablo 2: Uçucu yağların mikroenkapsülasyonunda yaygın olarak kullanılan yöntemler [29].

Mikroenkapsülasyon Teknikleri	
Kimyasal Yöntemler	Fiziksel Yöntemler
Ara Yüzey Polimerizasyonu	Püskürterek Kurutma
İn-situ Polimerizasyon	Santrifüj Yöntemi
Kompleks Koaservasyon	Döner Disk Yöntemi
Basit Koaservasyon	Akışkan Yatak Yöntemi
Süperkritik Akışkan Yöntemi	Soğutarak Kurutma
	Sıcak Eriyik Yöntemi

4.1 Püskürtmeli kurutucu yöntemi

Püskürtmeli kurutucu yönteminin kullanımına ilk kez 1950'li yıllarda gıda endüstrisinde rastlanmaktadır ve daha sonra farmakoloji endüstrisinde bu yöntemden yararlanılmış [39] olup, bu yöntemle 5-5000 µm boyutunda partiküller elde edilebilmektedir [40].

Püskürtmekle kurutma, kabuk materyalin bir polimer çözeltisinin içerisinde çözülükten sonra bir atomizer aracılığı ile sıcak hava bulunan bir kabine aerosol halinde püskürtülmesi esasına dayanan bir yöntemdir. Sıcak hava yardımıyla çözgen uzaklaştırılmakta ve yüzey alanı püskürtme işlemi ile artırıldığı için, 3-40 saniye gibi kısa sürede çok hızlı bir kurutma sağlanarak mikrokapsül elde edilmektedir [39],[41]. Püskürtmeli kurutma, yağların kapsüllemesinde en yaygın kullanılan tekniktir. Püskürtmekle kurutma ekipmanı kolayca temin edilebilir ve üretim maliyetleri diğer birçok yöntemden daha düşüktür [42].

4.2 Koaservasyon yöntemi

Mikrokapsüllerin endüstriyel üretime uyarıldığı ilk yöntemdir [43]. Koaservasyon yöntemi basit ve kompleks koaservasyon olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Boyutları 2-1200 µm arasında değişmektedir [40]. Koaservasyon işlemi gidalarda çok geniş bir kullanım alanına sahiptir [44].

Koaservasyon yönteminde iç materyal çözündürülerek dispersiyon oluşturulmaktadır. Oluşturulan çözeltinin çözünürlüğü sıcaklık düşüşleri, pH değerindeki dalgalanmalar, iyon gradientinin yaratılması gibi faktörlerle faz ayrımı sonucu duvar materyali elde edilerek kapsül oluşumu sağlanmaktadır [45].

Basit ve kompleks koaservasyon olmak üzere iki çeşidi vardır. Kompleks koaservasyonda farklı yükteki iki kolloid kullanılırken, basit koaservasyonda tek tip kolloid kullanılır ve tuz, pH, çözücüler ve sıcaklığın uygun seviyeye getirilmesi ile iki faz elde edilir. Çapraz bağlayıcı ajanlar vasıtasıyla kabuk sertleştirilir [46].

4.3 Süperkritik akışkan yöntemi

Bu işlemde, basınç altında bulunan dolgu ve kaplama materyalleri içeren süperkritik akışkan, atmosfer basıncındaki ortama beslenir. Basıncıta meydana gelen düşüş kaplama materyalinin akışkandaki çözünürlüğünün azalmasına ve dolgu materyalinin sarıp kaplamasına yol açarak mikrokapsül oluşumuna olanak sağlanmaktadır [40].

Uçucu yağlar, normal kurutma gazı içeren püskürtmeli kurutma (80°C'nin üstünde) yöntemiyle veya oksijen varlığında kullanılan yüksek işlem sıcaklıkları ile bozunabilmektedir. Alternatif olarak, süperkritik karbondioksitin kullanıldığı çevre dostu bir yeşil teknoloji olan süperkritik akışkan yöntemi daha düşük sıcaklıklarda uygulanarak esansiyel yağların degrade olması ve antioksidan aktivite kaybını önlemektedir [47].

4.4 Ekstrüzyon (sıcak eriyik) yöntemi

Ekstrüzyon yöntemi hidrokolloidlerle kapsül oluşturmak adına başvurulan en eski ve en yaygın yöntemdir. Kapsül boyutu 25 µm ile 2 mm arasında değişmektedir [48]. Ekstrüzyon yönteminde birbirine karışmayan sıvı halindeki membran ve iç materyal süratle dönen başlıktan pompalanır. Havayla karşılaşan membran materyali katılaştır ve titreşim altında iç materyali kaplayarak kapsül oluşumu sağlanır [49]. Bu teknikte kabuk materyali olarak karbonhidrat türleri ve kor materyali olarak da uçucu bileşenler çoğunlukla kullanılmaktadır [35].

Yağların mikroenkapsülasyonunda püskürtmeli kurutucuya göre daha az kullanım alanına sahiptir. Son zamanlarda, ekstrüzyon teknikleri gıda ve pestisit endüstrilerinde zeytin, karanfil, kekik ve tarçın yağları da dahil olmak üzere bazı bitkisel ve uçucu (esansiyel) yağları kapsüllemek için uygulanmaktadır [50],[51].

4.5 Akışkan yatak kaplama yöntemi

D.E. Wurster tarafından 1950'lerde keşfedildiği için Wurster yöntemi olarak da isimlendirilmektedir [52]. Oluşan mikrokapsüllerin boyutları 20-1500 µm arasında değişmektedir [48]. Bu metoda göre toz formdaki iç materyal akışkan yatak vasıtasıyla sıcak bir gazda çözünür. Süspanse hale gelen yapı üzerine sıvı haldeki membran materyali püskürtülerek kapsül oluşumu sağlanır. Hızlı bir şekilde buharlaşarak çözücünün uzaklaşmasıyla kabuk maddenin çekirdek materyalinin kaplaması sağlanır [49].

Akışkan yataklı kaplama, gıda ve ilaç endüstrilerinde sürekli büyüyen uygulamaları ile en etkili kaplama yöntemlerinden biridir [53].

4.6 Rotasyonel süspansiyon ayırma (döner disk) yöntemi

İlk kez Prof. R.E. Sparks tarafından geliştirildiği bildirilmiştir. Boyutları 5-1500 µm arası değişmektedir [40]. Bu teknikte iç (kor) materyal, membran içerisinde homojen bir şekilde çözünmüş halde döner diske beslenir. Membran materyalinin soğuyarak katılaşması sonucu kor materyalinin içerisine hapsederek mikrokapsül oluşumu sağlanır [29]. Uçucu yağların stabilitesi mikroenkapsülasyon teknikleri ile önemli derecede artırılmaktadır. Mikroenkapsülasyon, gıda üretim prosesleri esnasında uçucu olarak tanımlanan bileşiklerin buharlaşma, oksidasyon vb. reaksiyonlarla kaybolmasını önlemede büyük önem taşımaktadır [54].

Mikrokapsülleme yönteminin seçiminde; mikrokapsülün kullanılma amacı, büyüklüğü, çekirdek maddesinin fiziksel özellikleri, çekirdek maddesi ile çözücü veya çeper maddesi arasındaki tepkime, çeper maddesinin özellikleri veya çekirdek maddesinin salım özellikleri, göz önünde tutulması gereken en önemli hususlardır [34].

4.7 In-situ polimerizasyon yöntemi

Suda çözünmeyen sıvı veya katı çekirdek materyallerinin mikroenkapsülasyonunda kullanılan in-situ polimerizasyonu yönteminde çekirdek materyalinin dispersiyonu oluşturularak ön polimerin ilave edilmesi ile başlayan polimerizasyonun devamlılığı için sıcaklık, pH gibi gereken uygun koşullar ayarlanır. Böylece ön polimerin boyutu büyüyerek çekirdek materyalin üzerine çöker ve mikrokapsül oluşur. Mikrokapsüller 0.5 ile 1100 µm büyüklüğünde elde edilmektedir [55].

4.8 Ara yüzey polimerizasyonu yöntemi

Birbiri ile karışmayan iki sıvı fazın ara yüzeyinde genellikle iki monomerin çekirdek materyalinin hapsedecek şekilde reaksiyona girmeleri ile ince bir kaplama materyalinin oluşturulmaları sonucunda mikrokapsül elde edilmektedir. Oluşan mikrokapsül boyutları 0.5 ile 1000 µm arası değişmektedir. Polimerleşmenin gerçekleşmesi için ortam sıcaklığı, pH, monomerlerin reaktivliği ve konsantrasyonu önem taşımaktadır [55].

4.9 Soğutarak kurutma yöntemi

Püskürtmeli kurutucu yöntemiyle benzerdir. Aralarındaki fark kurutmanın sıcak hava ile değil de soğutma işlemi ile yapılmasıdır [55].

4.10 Santrifüj yöntemi

Ekstrüder yöntemine oldukça benzeyen santrifüj yönteminde karşılıklı memeciklerden birbiri ile karışmayan çekirdek ve kaplama materyalleri pompalanır. Kaplama materyali hızla soğuyarak katlaşır ve çekirdek materyalinin etrafını sarar. Ekstrüzyon başlığı döndükçe merkezkaç kuvvetinin etkisiyle küresel mikrokapsül yapısı oluşur [40].

5 Uçucu yağların mikrokapsülasyon uygulamaları

Uçucu yağların farklı majör bileşenlerine sahip olmaları ve bu majör bileşenlerin de çözünürlük ve uçuculuk gibi karakterlerinin farklı olması mikrokapsülasyon tekniğinin ve etkinliğinin önemini ortaya koymaktadır. Literatürde uçucu yağların mikrokapsülasyonuna dair birçok çalışma mevcuttur. Bunlardan gıda sektörünü ilgilendiren bazı güncel araştırmaların derlemesi bu çalışmada yapılmıştır.

Nane uçucu yağı mikrokapsülasyonu için zein kaplama materyaline %1, %3, %5, %7, %9, %11, %13 ve %15 oranlarında kazein ilavesi edilerek yapılan bir çalışmada yalnızca zein kullanılarak hazırlanan mikrokapsüller ile zein-kazein kompleksi ile oluşturulan mikrokapsüllerin enkapsülasyon etkinliği ve salım düzeyleri kıyaslanmıştır. Zeine farklı oranlardaki kazein ilavesi ile elde edilen mikrokapsüllerin enkapsülasyon etkinliği en yüksek % 54.66±3.76 olarak %13'lük zein-kazein formülasyonu ile sağlanırken, sadece zein kullanılarak elde edilen mikrokapsüllerin enkapsülasyon etkinliği % 46.84±0.22 olarak tespit edilmiştir. Dokuz günlük salım hızı testi sonucu olarak da sadece zein kullanılarak hazırlanan mikrokapsüllerinde % 64.27±3.48 olarak, zein-kazein mikrokapsüllerinde ise % 37.86±2.73 olarak nane uçucu yağının salım düzeyi tespit edilmiştir. Mikrokapsüle edilen nane yağının serbest formdaki nane yağına göre daha uzun süreli korunduğu ve belirli sürede daha az miktarda salınarak, stabilitesinin daha yüksek olduğu saptanmıştır [56].

Sarımsak yağının kompleks koaservasyon yöntemi ile mikrokapsülasyonunu içeren bir çalışmada, jelatin ve arap zamkı duvar materyalleri kullanarak domuz kaynağından elde edilen jelatine A tip ve sığır kaynağından elde edilen jelatine B tip jelatin isimleri verilerek mikrokapsülasyon etkinliğine bakılmıştır. En yüksek mikrokapsülasyon verimi A tip jelatin ile yapılan uygulamada, pH 4.5 iken 1:1 A tip jelatin/arap zamkı oranında ve 6:1 çekirdek materyali/duvar materyali oranında kullanıldığında gözlemlenmiştir. B tip jelatin ile yapılan uygulamadaki en yüksek mikrokapsülasyon verimi, pH 3.5 iken 1:1 B tip jelatin/arap zamkı oranında ve 6:1 çekirdek materyali/duvar materyali oranında kullanıldığında saptanmıştır. 12 gün boyunca 45 °C'de depolanan mikrokapsüllerin her iki tip jelatin için de birincil ve ikincil oksidasyona karşı gösterdikleri korumanın, mikrokapsüle edilmeyen serbest formdaki sarımsak yağına kıyasla eşit derecede olduğu belirtilmiştir [57].

Püskürtmeli kurutucu tekniği ile gün geçtikçe artan arap zamkı maliyetini düşürebilmek adına maltodekstrin ile kombine ederek %100 arap zamkı kullanımı kadar etkin olup olmayacağı merak edilmiştir. Arap zamkı-maltodekstrin

(%38-62) kombinasyonu ve %100 arap zamkı kullanılarak *M. spicata* ve *M. piperita* isimli 2 tür nane uçucu (esansiyel) yağı mikrokapsüle edilmiştir. Mikrokapsüle örneklerde kalan nane yağ miktarı Gaz kromatografisi-Alev iyonizasyon dedektörü (GC-FID) ile belirlenerek örneklerin reaksiyon kinetikleri incelenmiştir. Nane yağı salınımının 0. derece reaksiyon kinetiğine uygun olduğu ve salım kinetiğinin ise, nane yağının türüne, kullanılan kaplama materyalinin çeşit ve konsantrasyonuna bağlı olduğu belirtilmiştir. Sıcaklık arttıkça da yarılanma ve desimal azalma süresinin azaldığı tespit edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre maltodekstrin ile arap zamkı kombinasyonunun, %100 arap zamkı kadar etkin olduğu saptanmıştır. Bu tür çalışmaların farklı uçucu yağlar için de yapılması gerektiği belirtilmiştir [58].

Kişniş uçucu (esansiyel) yağının püskürtmeli kurutucu metoduyla kitosan, aljinat ve inülin duvar materyalleri olarak kullanılmasıyla mikrokapsüllerin hazırlandığı bir çalışmada, en yüksek salım düzeyleri kitosan için pH 2.5, aljinat için pH 6.5 ve inülin için pH 6.5 olduğu durumda gözlemlenmiştir. Sıcaklığın artmasına bağlı olarak salım hızlarının arttığı bildirilmiştir [59].

Yenibahar uçucu yağının kitosan-kappa-karragenan duvar materyalleri olarak kullanıldığı bir çalışmada kompleks koaservasyon yoluyla mikrokapsülasyon gerçekleştirilmiştir. Antioksidan aktivitesi için mikrokapsül formundaki yenibahar uçucu yağının DPPH serbest radikal süpürme kapasitesi ve süperoksit anyon radikal süpürücü aktivitesine bakılarak BHT (bütil hidroksi toluen)'e göre önemli ölçüde daha düşük olduğu ve kitosanın antioksidan aktiviteye katkı sağladığı bildirilmiştir. Ayrıca, mikrokapsüllerin *Candida utilis*, *Bacillus cereus* ve *Bacillus subtilis* mikroorganizmaları üzerinde antimikrobiyal etkisi olduğu saptanmıştır [60].

Martins ve diğ. [61] tarafından kekik yağının koaservasyon yöntemi ile hazırlanan polilaktit (PLA) mikrokapsüller aracılığıyla timol ve para-simen salımının incelendiği bir çalışmada, ortalama 36 µm boyutunda küresel şekle sahip mikrokapsüllerden ilk saatte timol salımının daha hızlı olduğu ve sonraki günlerde sabit kaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca kekik yağının polar bileşiklerinin serbest bırakılmasının apolar bileşiklere oranla daha hızlı olduğu gözlemlenmiştir. Yayılımın ilk saatinde difüzyon katsayısı timol salımı için $1.39 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{s}$ ve simen salımı için $5.21 \times 10^{-17} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak saptanmıştır. 5 günlük bir sürede difüzyon katsayıları timol için $3.81 \times 10^{-17} \text{ m}^2/\text{s}$ ve simen için $1.43 \times 10^{-18} \text{ m}^2/\text{s}$ olduğu saptanarak kekik yağının PLA çapraz bağlanmış membran difüzyonunun mikrokapsüllerin morfolojik özelliklerine bağlı olduğu ve bu modelin tek katmanlı mikrokapsül sistemleri ile geliştirilebileceği belirtilmiştir [61].

Maltodekstrin, arap zamkı, inülin ve modifiye nişasta duvar materyallerinin ayrı ayrı ve kombinasyon halinde kullanılarak, püskürtmeli kurutucu yöntemiyle mikrokapsül eldesinde, biberiye uçucu yağının özelliklerine etkisi araştırılmış, emülsifikasyon için yüksek kapasiteye sahip mevcut materyallerin uçucu bileşenleri bir arada tutmada etkili olduğu saptanmıştır. 1:1 oranında hazırlanan kombinasyonlarda genel olarak kapsülleme verimliliği açısından önemli derecede fark gözlenmezken, inülin varlığının kapsülleme verimini ve yüksek bağıl nem koşullarında higroskopisiteyi azaltıcı etki yaptığı, tozların ıslanabilirlik özelliğini ise geliştirdiği belirtilmiştir. İşleme ve depolama için önemli olan yüksek cam geçiş sıcaklığı özelliğini arap zamkı içeren duvar materyaline sahip mikrokapsüller sergilemiştir. Duvar materyali olarak kullanılan

modifiye nişasta, inülin, arap zamkı ve maltodekstrin kombinasyonları uçucu yağı hapsedme özelliği açısından değerlendirilerek modifiye nişasta ve inülin kombinasyonu, arap zamkı ve maltodekstrin kombinasyonu benzer etkiyi gösterdiği, arap zamkı ve inülin kombinasyonuna göre ise daha iyi bir şekilde uçucu yağı tuttuğu saptanmıştır. Mikrokapsüllerden salınan uçucu yağdaki ana bileşenlerin alfa-pinen, 1,8-sineol ve kamforun olduğu gaz kromatografisi ile tespit edilmiştir [62].

Bir başka çalışmada dünya çapında üretilen binlerce ton krom tabakalı deri atıklarını değerlendirmek için bunlardan ekstrakte edilen jelatin ile sodyum aljinat, sitronella esansiyel yağının kompleks koaservasyon yöntemiyle mikroenkapsüle edilmesinde kullanılarak kapsülleme verimliliği araştırılmıştır. Krom tabakalı deri atıklarından elde edilen %4 oranında jelatin ile %10 sitronella yağı kullanıldığında en iyi mikroenkapsülasyon verimliliği %73.7 olarak bulunmuş ve 434.06 µm çaplı mikrokapsüller elde edilmiştir. Aynı oranlarda ticari jelatin kullanıldığında %83.5 ile daha iyi mikroenkapsül verimliliği saptanmıştır. Bu çalışma ile krom tabakalı deri atıklarından ekstrakte edilen jelatin ile başarılı bir şekilde mikrokapsül üretileceği ve sitronella yağının kontrollü bir şekilde serbest bırakılmasına izin veren etkin bir yöntem olduğu saptanmıştır. Fakat bu mikrokapsüllerin fiziksel ve termal stabilitesini, raf ömrünü, biyolojik ve fonksiyonel aktivitelerini belirlemek için daha ileri çalışmalara ihtiyaç olduğu öngörülmektedir [63].

Püskürtmeli kurutma metoduyla biberiye esansiyel yağının maltodekstrin ve modifiye nişasta ile mikroenkapsüle edildiği bir çalışmada, emülsiyonun yağ yükünün artırılmasıyla elde edilen parçacıkların daha yüksek nem içeriği ve daha düşük higroskopisite sergilediği saptanmıştır. Optimum duvar konsantrasyonu ve yağ yükünün sırasıyla %20,9 ve %29,4 olduğu ve ortalama parçacık boyutunun 12.2 µm olarak bulunmuştur. Mikrokapsüllerin optimum koşullar içerisinde çöküntü veya çatlak içermeyen yapıda olduğu gözlemlenmiştir. Püskürtmeli kurutma işlemi ile oluşturulan mikrokapsüllerin biberiye yağının tüm ana bileşenlerini muhafaza ettiği saptanmıştır. Biberiye esansiyel yağını içeren mikroenkapsüllerin antioksidan ve antimikrobiyal aktivitelerini değerlendiren daha kapsamlı çalışmalar yapılmaktadır [64].

Okalıptüs yağı içeren sodyum aljinat mikrokapsüllerinin, su içinde yağ emülsifikasyonu olan Shirasu gözenekli cam membranıyla 5.2 µm gözenek büyüklüğünde ve kalsiyum klorür (CaCl₂) ile çapraz bağlanarak (Y/S) su içinde yağ emülsifikasyonu ile mikroenkapsüle edildiği bir başka çalışmada, optimum şartlar, yağ yükleme verimliliği ve okalıptüs yağının mikrokapsüllerden kontrollü salınımı 40 °C'de bir zaman fonksiyonu olarak incelenmiştir. Mikrokapsüllerin çapı, %0.1 (wv-1)'den %0.5 (wv-1)'e kadar artan sodyum aljinat konsantrasyonları ile 42.2±2.0 µm'den 48.5±0.6 µm'ye artmış, ancak artan okalıptüs yağı yükleme seviyeleri ve kalsiyum klorür çapraz bağlama konsantrasyonları ile azalmıştır. Çapraz bağlama süresi mikrokapsül çaplarını önemli ölçüde etkilememiştir. 10 gün sonunda mikrokapsüllerin okalıptüs yağı salımı tamamlanmıştır. Mikrokapsüllerden yağ salım modeli için non-fickian transport mekanizmasıyla Ritger-Peppas modeline uyduğu belirtilmiştir [65].

Tatlı su istakozu olarak bilinen kerevitin atık kabuklarından elde edilmiş olan kitosan kullanılarak kişniş uçucu yağının

püskürtmeli kurutucu tekniği ile mikroenkapsüle edildiği bir diğer çalışmada kerevit kitosanı, serbest kişniş uçucu yağı ve mikrokapsül formundaki kişniş uçucu yağı olmak üzere 3 örneğin antimikrobiyal ve antioksidan aktiviteleri ve enkapsülasyon etkinliği incelenmiştir. Mikrokapsüller 400 nm ile 7 µm arası boyutlarda elde edilmiştir. Serbest formdaki kerevit kitosanının mikrokapsüllere göre antimikrobiyal aktivitesi daha yüksek çıkmıştır. Antioksidan aktiviteleri ise bu sonucun tam tersi olarak mikrokapsüllerin antioksidan aktivitesi serbest formdaki kerevit kitosanına ve serbest formdaki kişniş yağına kıyasla daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu çalışma sonucunda elde edilen mikrokapsüllerin gıda ve farmasötik endüstrilerinde antioksidan ve antimikrobiyal ajan olarak kullanılabilirliği belirtilmektedir [66].

Latince adı *Ocimum sanctum* Linn. olan kutsal fesleğen bitkisinin uçucu yağını buharlaşma ve oksidasyondan korumak için basit koaservasyon metoduyla jelatin kaplama materyali ve glutaraldehid çapraz bağlayıcı ajan olarak kullanılarak mikrokapsülleme işleminin yapıldığı bir başka çalışmada 60 °C'de 49 gün hızlandırılmış depolama koşullarında muhafaza edilerek antioksidan aktivitesi ve enkapsülasyon verimliliği incelenmiştir. 392.30 µm çapında elde edilen mikrokapsüllerin 49 gün depolama süresinde antioksidan aktivitesinde küçük bir azalma saptanmıştır. Enkapsülasyon verimliliği %95.41 olarak saptanmıştır. Geliştirilen mikrokapsül formülasyonunun oksijen, ışık ve nem gibi çevre koşullarına duyarlı biyoaktif bileşenleri korumak adına uygulanabilir olduğu öngörülmektedir [67].

6 Sonuç

Türkiye'de gün geçtikçe endüstriyel kullanım alanlarının arttığı fark edilen tıbbi ve aromatik bitkilerden elde edilen antioksidan, antimikrobiyal, sindirim uyarıcı, insektisidal gibi birçok faydalı özelliği kanıtlanmış uçucu yağların dış etkenlerden etkilenmesinin önüne geçmek için mikroenkapsülasyon teknolojisine başvurulmaktadır. Uçucu bileşenlerinin korunmasının yanı sıra kontrollü salınımının gerçekleştirilmesi, sıvı formdan katı forma geçerek taşınmasının kolaylaşması, raf ömrünün uzatılması gibi çeşitli faydalar sağlamaktadır. Mikroenkapsülasyon tekniği ile uçucu yağların ve bu yağlarda bulunan kıymetli bileşenlerin kapsüllemesi ile elde edilen mikrokapsüllerin, serbest uçucu yağlara kıyasla çevre şartlarına daha dayanıklı, daha kararlı yapıda oldukları yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır. Gıdaların çeşitliliğini ve doğallığını biyoaktif bileşenlerle sağlamak adına uçucu yağları içeren mikrokapsüllere başvurulmaktadır. Gıda sanayiinde mikroenkapsülasyon birçok alanda kullanılmasına rağmen yaygın olarak bitki uçucu (esansiyel) yağlarının mikroenkapsülasyonunda kullanılmaktadır. Bu bağlamda yapılan laboratuvar çalışmalarının sanayide uygulanabilme imkânı bulmasıyla ve doğadan toplanan ekonomik değeri gittikçe artan bitkilerin uçucu yağlarının daha verimli bir şekilde değerlendirilmesiyle fonksiyonel gıda pazarı için önemli bir girdi oluşturulacaktır. Mikroenkapsülasyon teknolojisinin gıda sektöründe geleceğe yönelik önemli bir potansiyele sahip olduğu düşünülmektedir [65].

7 Teşekkür

Bu çalışma Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: FYL-2018-20445.

8 Kaynaklar

- [1] Dağcı EK, İzmirli M, Dığrak M. "Kahramanmaraş ilinde yetişen bazı ağaç türlerinin antimikrobiyal aktivitelerinin araştırılması". *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(1) 38-46, 2002.
- [2] Walker M. "Biodiversity update". *New Scientist*, 170(2288) 24-26, 2001.
- [3] Aslan N. Kekik Tarımı ve Kullanım Alanları. Lisans Bitirme Tezi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, Türkiye, 2005.
- [4] Yoğunođlu A. "Tunceli Ekonomik Değeri Olan Bitkiler Raporu". Tunceli, Türkiye, 2011.
- [5] Başıyigit M, Baydar H. "Tıbbi Adaçayı (*Salvia officinalis* L.)'nda farklı hasat zamanlarının uçucu yağ ve fenolik bileşikler ile antioksidan aktivite üzerine etkisi". *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(1), 131-137, 2017.
- [6] Tanker M, Şarer E, Tanker N. "*Salvia triloba* L. f. bitkisinin uçucu yağı üzerinde gaz kromatografisiyle araştırmalar". *Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi*, 5, 198-206, 1976.
- [7] Kırbağ S. "*Hypericum perforatum* L.'un değişik ekstraktlarının antimikrobiyal etkileri". *Journal of Qafqaz University*, 2(1), 102-108, 1999.
- [8] Ellialtıoğlu Ş, Sevenger S, Sezik E. "Şanlıurfa'da Nane tarımının geliştirilmesi üzerinde çalışmalar". *GAP GİDEM Bilgilendirme Toplantısı*, Şanlıurfa, Türkiye, 8-9 Nisan 2007.
- [9] Keshani S, Daud WRW, Nourouzi MM, Namvar F, Ghasemi M. "Spray drying: An overview on wall deposition, process and modeling". *Journal of Food Engineering*, 146, 152-162, 2015.
- [10] Bakkalı F, Averbeck S, Averbeck D, Idaomar M. "Biological effects of essential oils-a review". *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 46-475, 2008.
- [11] Mimica-Dukiš N, Bugarin D, Grboviš S, Mitiš-Šulafiš D, Vukoviš-Gačiš B, Orčiš D, Jovin E, Couladis M. "Essential oil of *Myrtus communis* L. as a potential antioxidant and antimutagenic agents". *Molecules*, 15, 2759-2770, 2010.
- [12] Çelik E, Çelik GY. "Bitki uçucu yağlarının antimikrobiyal özellikleri". *Orlab On-Line Mikrobiyoloji Dergisi*, 5(2), 1-6, 2007.
- [13] Biçer A, Özkan G, Ergen A. "Lavanta bitkisi çiçeklerinden süperkritik CO2 ile uçucu yağların ekstraksiyonuna basıncın etkisi". *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 16(4), 717-723, 2003.
- [14] Ceylan A. *Tıbbi Bitkiler II (Uçucu Yağ İçerenler)*. 1. Baskı. İzmir, Türkiye, Ege Üniversitesi Basımevi, 1987.
- [15] Başer KHC, Kırmir N, Koşar M, Tunaher Z. *Farmakognozi III Uygulamaları El Kitabı*. Eskişehir, Türkiye, 2005.
- [16] Bayaz M. "Esansiyel yağlar: antimikrobiyal, antioksidan ve antimutajenik aktiviteleri". *Akademik Gıda*, 12(3), 45-53, 2014.
- [17] Dimitrios B. "Sources of natural phenolic antioxidants". *Trends in Food Science & Technology*, 17, 505-512, 2006.
- [18] Göktürk Baydar N, Ozkan G, Yaşar S. "Evaluation of the antiradical and antioxidant potential of grape extracts". *Food Control*, 18(9), 1131-1136, 2007.
- [19] Siger A, Nogala-Kalucka M, Lampart-Szczapa E. "The content and antioxidant activity of phenolic compounds in cold-pressed plant oils". *Journal of Food Lipids*, 15(2), 137-149, 2008.
- [20] Evren M, Tekgüler B. "Uçucu yağların antimikrobiyal özellikleri". *Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi*, 9(3), 28-40, 2011.
- [21] Kılıç A. "Uçucu yağ elde etme yöntemleri". *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 10(13), 37-45, 2008.
- [22] Beristain CI, Garcia HS, Carter VEJ. "Spray dried encapsulation of cardamom (*Elettaria cardamomum*) essential oil with mesquite (*Prosopis juliflora*) Gum". *Food Science and Technology*, 34, 398-401, 2001.
- [23] Jackson LS, Lee K. "Microencapsulation and the Food Industry". *Food Science and Technology*, 24, 289-297, 1991.
- [24] Venkatesan P, Manavalan R, Valliappan K. "Microencapsulation: A vital technique in novel drug delivery system". *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 1(4), 26-35, 2009.
- [25] Umer H, Nigam H, Tamboli AM, Nainar MSM. "Microencapsulation: Process, techniques and applications". *International Journal of Research in Pharmaceutical and Biomedical Sciences*, 2(2), 474-481, 2011.
- [26] Sri J, Seethadevi A, Prabha KS, Muthuprasanna P, Pavitra P. "Microencapsulation: a review". *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 3(1), 509-531, 2012.
- [27] Zuidam NJ, Shimoni E. 2010. "Overview of microencapsulates for use in food products or processes and methods to make them". *Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing*, 2, 3-26, 2010.
- [28] Koç M, Sakin M, Kaymak-Ertekin F. "Mikroenkapsülasyon ve gıda teknolojisinde kullanımı". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(1), 77-86, 2009.
- [29] Eyüpođlu Ş, Kut D. "Mikrokapsülasyon teknolojisi ve tekstil sektöründe kullanımı". *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 29, 9-28, 2016.
- [30] Paulo F, Santos L. "Design of experiments for microencapsulation applications: A review". *Materials Science and Engineering C*, 77, 1327-1340, 2017.
- [31] Ezhilarasi PN, Karthik P, Chhanwal N, Anandharamkrishnan C. "Nanoencapsulation techniques for food bioactive components: a review". *Food and Bioprocess Technology*, 6(3), 628-647, 2013.
- [32] Andrade B, Song Z, Li J, Zimmerman SC, Cheng J, Moore JS, Harris K, Katz JS. "New frontiers for encapsulation in the chemical industry". *ACS Applied Materials & Interfaces*, 7(12), 6359-6368, 2015.
- [33] Gökmen S, Palamutođlu R, Sarıçoban C. "Gıda endüstrisinde enkapsülasyon uygulamaları". *Electronic Journal of Food Technologies*, 7(1), 36-50, 2012.
- [34] Sayit G. Mikrokapsül ve Lipozom Teknolojisi Kullanarak Kozmetik-Tekstil Üretimi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2015.
- [35] Dubey R, Shami TC, Rao KUB. "Microencapsulation technology and applications". *Defence Science Journal*, 59(1), 82-95, 2009.
- [36] Ünal E, Erginkaya Z. "Probiyotik mikroorganizmaların mikroenkapsülasyonu". *Gıda*, 35(4), 297-304, 2010.
- [37] de Prisco A, Mauriello G. "Probiotication of foods: A focus on microencapsulation tool". *Trends in Food Science and Technology*, 48, 27-39, 2016.
- [38] Arslan-Tontul S, Erbaş M. 2018. "Biyoaktif gıda bileşenlerinin püskürterek dondurma yöntemi ile mikroenkapsülasyonu". *The Journal of Food*, 43(1), 11-20, 2018.

- [39] Drusch S. "Sugar beet pectin: A novel emulsifying wall component for microencapsulation of lipophilic food ingredients by spray-drying", *Food Hydrocolloids*, 2, 1223-1228, 2007.
- [40] Ghosh SK. "Functional Coatings and Microencapsulation: A General Perspective". *Functional Coatings by Polymer Microencapsulation*, 289(1-3), 1-28, 2006.
- [41] Özer Ö, Gökçe EH, Özcan İ, Tanrıverdi ST, Gökçe G, Tekmen İ. "Antioksidan Yüklü Mikropartiküller İçeren Dermal Matriks Sistemlerden Doku Onarımı Üzerine Sinerjik Etkilerinin İncelenmesi". Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Final Raporu, İzmir, Türkiye, 001, 2014.
- [42] Gharsallaoui A, Roudaut G, Chambin O, Voilley A, Saurel R. "Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview". *Food Research International*, 40, 1107-21, 2007.
- [43] Weinbreck F, Vries R, Schrooyen P, Kruif CG. "Complex coacervation of whey proteins and gum arabic". *Biomacromolecules*, 4, 293-303, 2003.
- [44] Yang ZM, Peng Z, Li JH, Li SD, Kong LX, Li PW, Wang QH. "Development and evaluation of novel flavor microcapsules containing vanilla oil using complex coacervation approach". *Food Chemistry*, 145, 272-277, 2014.
- [45] Holme I. "Versatile technology comes of age". *International Dyer*, 188, 9-13, 2003.
- [46] Sutaphanit P, Chitprasert P. "Optimisation of microencapsulation of holy basil essential oil in gelatin by response surface methodology". *Food Chemistry*, 150, 313-20, 2014.
- [47] Almeida AP, Rodríguez-Rojo S, Serra AT, Vila-Real H, Simplicio AL, Delgadillo I, Beirão da Costa S, Beirão da Costa L, Nogueira ID, Duarte CMM. "Microencapsulation of oregano essential oil in starch-based materials using supercritical fluid technology". *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 20, 140-5, 2013.
- [48] Krasaekoopt W, Bhandari B, Deeth H. "Evaluation of encapsulation techniques of probiotics for yoghurt: a review". *International Dairy Journal*, 13(1), 3-23, 2003.
- [49] Sarier N, Onder E. "Organic phase change materials and their textile applications: An overview". *Thermochimica Acta*, 540, 7-60, 2012.
- [50] Sun-Waterhouse D, Zhou J, Miskelly GM, Wibisono R, Wadhwa SS. "Stability of encapsulated olive oil in the presence of caffeic acid". *Food Chemistry*, 126, 1049-56, 2011.
- [51] Soliman EA, El-Moghazy AY, El-Din MSM, Massoud MA. "Microencapsulation of essential oils within alginate: formulation and in vitro evaluation of antifungal activity". *Journal of Encapsulation and Adsorption Sciences*, 3, 48-55, 2013.
- [52] Arshady R. "Microcapsules for food". *Journal of Microencapsulation*, (10), 413-435, 1993.
- [53] Anwar SH, Kunz B. "The influence of drying methods on the stabilization of fish oil microcapsules: comparison of spray granulation, spray drying, and freeze drying". *Journal of Food Engineering*, 105, 367-78, 2011.
- [54] Wojtowicz E, Zawirska-Wojtasiak R, Adamiec J, Wasowicz E, Przygoński K, Remiszewski M. "Odor active compounds content in spices and their microencapsulated powders measured by SPME". *Journal of Food Science*, 75(8), 441-445, 2010.
- [55] Topbaş Ö. Mikroenkapsülasyon Tekniği ile İyileştirici Bandaj Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2011.
- [56] Gökbulut, İ. "Nane uçucu yağının enkapsülasyonu için zein-kazein mikrokapsüllerinin geliştirilmesi". *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(1), 31-40, 2017.
- [57] Siow LF, Ong CS. "Effect of pH on garlic oil encapsulation by complex coacervation". *Journal Food Process Technology*, 4(1), 199-204, 2013.
- [58] Başyigit B, Çam M. 2017. "Püskürtmeli kurutucu ile nane (*Mentha piperita* ve *Mentha spicata*) esansiyel yağı mikroenkapsülasyonu". *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 21(1), 24-34, 2017.
- [59] Dima C, Pătrașcu L, Cantaragiu A, Alexe P, Dima S. "The kinetics of the swelling process and the release mechanisms of *Coriandrum sativum* L. essential oil from chitosan/alginate/inulin microcapsules". *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 195, 39-48, 2016.
- [60] Dima C, Cotârlet M, Alexe P, Dima S. "Microencapsulation of essential oil of pimento [*Pimenta dioica* (L) Merr.] by chitosan/k-carrageenan complex coacervation method". *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 22, 203-211, 2014.
- [61] Martins IM, Rodrigues SN, Barreiro MF, Rodrigues AE, "Polylactide-based thyme oil microcapsules production: evaluation of surfactants". *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 50, 898-904, 2011.
- [62] Fernandes RVB, Borges SV, Bortel DA. "Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil". *Carbohydrate Polymers*, 101, 524-532, 2014.
- [63] de Matos EF, Scopel BS, Dettmer A. "Citronella essential oil microencapsulation by complex coacervation with leather waste gelatin and sodium alginate". *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6, 1989-1994, 2018.
- [64] de Barros Fernandes RV, Marques GR, Borges SV, Botrel DA. "Effect of solids content and oil load on the microencapsulation process of rosemary essential oil". *Industrial Crops and Products*, 58, 173-181, 2014.
- [65] Noppakundilongrat S, Piboon P, Graisuwan W, Nuisin R, Kiatkamjornwong S. "Encapsulated eucalyptus oil in ionically cross-linked alginate microcapsules and its controlled release". *Carbohydrate Polymers*, 131, 23-33, 2015.
- [66] Duman F, Kaya M. "Crayfish chitosan for microencapsulation of coriander (*Coriandrum sativum* L.) essential oil". *International Journal of Biological Macromolecules*, 92, 125-133, 2016.
- [67] Sutaphanit P, Chitprasert P. "Optimisation of microencapsulation of holy basil essential oil in gelatin by response surface methodology". *Food Chemistry*, 150, 313-320, 2014.