




Gıda Endüstrisinde Aroma Mikroenkapsülasyonu

Zeynep Atak¹ ✉ , Mehmet Koç² , Figen Kaymak-Ertekin³ ¹Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir²Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Aydın³Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir

Geliş Tarihi (Received): 02.10.2017, Kabul Tarihi (Accepted): 09.12.2017

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): ezeynepatak@gmail.com (Z. Atak)

☎ 0 232 388 23 95 📠 0 232 342 75 92

ÖZ

Tüketici tercihlerini büyük ölçüde etkileyen ve ekonomik açıdan değerli olan aromalar, gıda endüstrisinde önemli bir yer tutmaktadır. Hassas ve uçucu olan bu değerli bileşenler, monomerler veya polimerler gibi kaplama materyallerinden oluşan kabuk ya da matrislerle enkapsüle edilebilmektedir. Oda sıcaklığında genellikle sıvı halde olan aroma bileşenlerinin enkapsülasyonu ile toz formda ürün elde edilirken, çevresel etkenlerden koruma ve raf ömründe artış gibi avantajlar sağlanabilmektedir. Aromaların enkapsülasyonunda püskürterek kurutma, püskürterek soğutma, ekstrüzyon, dondurarak kurutma, koaservasyon ve moleküler hapsedme gibi teknolojiler kullanılmaktadır. Bu derlemede, gıda endüstrisinde kullanılan aromaların çeşitli teknolojilerle enkapsülasyonu ile ilgili olarak yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikroenkapsülasyon, Aroma korunumu, Mikroenkapsülasyon yöntemleri, Toz parçacık, Kaplama maddesi

Aroma Microencapsulation in the Food Industry

ABSTRACT

Aroma, which has a great influence on consumer preferences and economic value, has an important place in the food industry. These volatile and sensitive valuable components can be encapsulated with shells or matrices of coating materials such as monomers or polymers. The encapsulation of aroma components, which are usually liquid at room temperatures, can provide advantages such as protection from environmental factors and increased shelf life when the product is in a powder form. Techniques such as spray drying, spray cooling, extrusion, freeze drying, coacervation and molecular inclusion are used in the encapsulation of aroma components. In this study, studies on the encapsulation of aroma components with various technologies used in the food industry are reviewed.

Keywords: Microencapsulation, Aroma retention, Microencapsulation techniques, Powdered particles, Coating materials

GİRİŞ

Enkapsülasyon, bir kabuk ya da matris oluşturularak değerli bileşenlerin korunmasını sağlayan bir yöntemdir. Enkapsülasyon sonucu oluşan kapsüller ile sıvı bileşenler katı forma dönüştürülmekte, reaktif bileşenler ayrılabilen, gıda maddeleri çevresel etkenlerden korunabilmekte, taşıma ve ambalajlamada kolaylık

sağlanabilmektedir [1] [2]. Gıda bileşenlerinin enkapsülasyonu için püskürterek kurutma (20-150µm), püskürterek soğutma, dondurarak kurutma (liyo-filizasyon), akışkan yatak kaplama (50-10000µm), koaservasyon (1-500µm), ekstrüzyon (700-6000µm), lipozom tutuklama, santrifüj süspansiyon ayırma (5-1000µm), kokristalizasyon vd. çeşitli yöntemler (Tablo 1) kullanılmaktadır [2,3].

Tablo 1. Mikroenkapsülasyon için kullanılan yöntemler [4]

Fiziksel Yöntemler	Kimyasal Yöntemler
Püskürterek kurutma	Faz ayrımı
Püskürterek soğutma	Çözücü ile evaporasyon
Döner disk	Koaservasyon
Akışkan yatak (kurutma, granülasyon, kaplama)	Arayüzey polimerasyonu
Ekstrüzyon	Lipozom
Koekstrüzyon	Koekstrüzyon
Moleküler enkapsülasyon	
Çoklu emülsiyonlar	

Enkapsülasyondan farklı olarak mikroenkapsülasyon, çekirdek materyalin bir veya birden fazla materyal (kaplama materyali) ile çevrelenmesi sonucu mikrometreden milimetreye değişen boyut aralığında mikrokapsül oluşumuna olanak vermektedir [5]. Çekirdeğin (aktif maddenin) fizikokimyasal özelliklerine bağlı olarak, kaplama bileşimi ve kullanılan mikroenkapsülasyon tekniğine göre farklı tipte enkapsüle partiküller elde edilebilmektedir. Bu partiküller, monomerler ve/veya polimerler gibi geniş aralıktaki kaplama materyallerinden üretilmektedir [2].

Kaplama Materyali Bileşenleri ve Fonksiyonları

Mikrokapsül özellikleri; bileşen kompozisyonu, salım mekanizması, parçacık boyutu, son ürünün fiziksel özellikleri ve talep edilen maliyete göre değiştirilebilmektedir. İstenilen kullanıma uygun olarak seçilen bu materyaller (Tablo 2) doğal, yarı sentetik veya sentetik maddeler olabilmektedir [6]. Yaygın olarak kullanılan ve ekonomik açıdan uygun olan kaplama materyalleri;

- tat maskeleyen (şeker, maltodekstrin, nişasta, selüloz türevleri ve gamlar gibi karbonhidratlar; hidrolize jelatin gibi proteinler; lipitler ve vaksar gibi çeşitli sıcak eriyikler; şelak gibi polimerler),
- enterik kaplama oluşturmak (nişasta ve selüloz türevleri gibi çeşitli polimerler ve sıcak eriyikler),
- kontrollü salım sağlamak (selüloz türevleri, çeşitli sıcak eriyikler ve polimerler),
- stabilite sağlamak (nişasta ve selüloz türevleri, sıcak eriyikler, arap zıncığı, şelak),
- fermentasyon amacıyla mikroorganizmaları enkapsüle etmek (aljinatlar ve pektinler) amaçları ile çeşitlilik göstermektedir [7].

Çekirdek madde salımının doğru şekilde incelenebilmesi için, çalışılan kaplama materyali ile çekirdek materyalin birbirleriyle etkileşimlerinin de dikkate alınması gerekmektedir [9]. Bunun yanı sıra pH değişimi (enterik ve enterik olmayan kaplama), mekanik gerilim, sıcaklık, enzimatik aktivite, zaman, ozmotik kuvvet vd. birçok unsur, enkapsüle bileşenin kontrollü olarak salımı için kullanılabilir ve kontrollü salım özelliği değiştirilebilmektedir [2].

AROMA MİKROENKAPSÜLASYONU

Hassas, uçucu ve ekonomik açıdan oldukça değerli olan aroma maddeleri, gıdanın işlevselliği, kalitesi ve tüketici tarafından kabul edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır [1]. Oda sıcaklığında yoğunlukla sıvı halde olan aroma bileşenlerinin enkapsülasyonu ile toz formda ürün elde edilebilmektedir [10, 11]. Spesifik koşullar altında aroma salımını sağlayan ve raf ömrünü uzatan enkapsülasyon teknikleri ile ayrıca, işleme ve depolama süresince aroma bileşenlerinin buharlaşması, bozunması ve migrasyonu önemli ölçüde sınırlandırılmaktadır [12, 11]. Enkapsüle bileşenlerin salımı, seçilen bileşenler ve enkapsülasyon teknolojisinin yanı sıra; partikülün boyutu ve geometrisi, çekirdek materyalin matris içerisine difüzyonu ve matrisin dışarıya transferi, matrisin bozunması/çözünmesi gibi birbirine bağlı birçok durumla ilişkilendirilmektedir [1, 13]. Şekil 1'de aroma enkapsüllerinin yapısı görülmektedir.

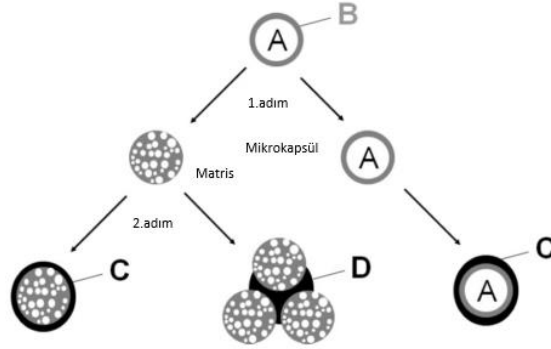
Aromaların enkapsülasyonunda püskürterek kurutma, püskürterek soğutma, ekstrüzyon, dondurarak kurutma, koaservasyon ve moleküler hapsedme gibi teknolojiler kullanılmakta ve ürünler genellikle mikroenkapsülasyon yöntemleri ile ticari hale getirilmektedir [1].

Gıda endüstrisinde enkapsülasyon için püskürterek kurutma, en büyük ticari üretim alanını oluşturmaktadır [6]. Yaygın olarak bulunan ve diğer yöntemlere göre daha düşük kurutma maliyetine sahip olan püskürtmeli kurutucular ile geniş çapta üretimler yapılması mümkün hale gelmektedir [14, 15]. Püskürterek kurutma yöntemi ile enkapsülasyon gıda endüstrisinde bileşenlerin (aroma maddeleri, yağlar vd.) kaplanması ve sıvı ürünlerin toz formuna dönüştürülmesinde kullanılan en eski yöntemlerdendir. Yöntemin en önemli avantajı, hem hidrofilik hem de hidrofobik özellik gösteren yapılarla uygulanabilmesi olarak belirtilmektedir [16]. Aroma enkapsülasyonu çalışmalarının %85' lik bölümü püskürterek kurutma ile gerçekleştirilmiştir. İşlem süresince çözünücü buharlaştırmak için kullanılan sıcak havanın 150-220°C aralığında tutulmasına karşın; belirtilen sıcaklık ve çalışılan aktif bileşenin temas süresinin kısa olması (1-5s) ve elde edilen son ürün sıcaklığının aromalar gibi gıda bileşenleri için 50-80°C aralığında bulunması nedeniyle termal bozunma riski sınırlandırılmaktadır [17].

Tablo 2. Gıda endüstrisinde mikroenkapsülasyon için kullanılan kaplama maddeleri [8]

Kaplama Materyali	Enkapsülasyon Teknolojisi
Nişasta ve türevleri Maltodekstrinler Şuruplar Siklodekstrinler	Püskürterek kurutma, akışkan yatak kaplama, ekstrüzyon, dondurarak kurutma, kokristalizasyon, moleküler hapsedme
Selüloz ve türevleri MC, HPMC, HPC, EMC, EC CMC*	Püskürterek kurutma, akışkan yatak kaplama, ekstrüzyon, emülsifikasyon/çökeltme, koaservasyon
Bitki sıvıları GA, GT, GK, MG*	Püskürterek kurutma, akışkan yatak kaplama, ekstrüzyon, koaservasyon, dondurarak kurutma
Bitki ekstraktları Guar, LBG*, tara Pektinler SSPS*	Ekstrüzyon, faz ayrılması, püskürterek kurutma, koaservasyon, dondurarak kurutma
Deniz ürünü ekstraktları Karragenan ve aljinat	Püskürterek kurutma, ekstrüzyon, koaservasyon, emülsifikasyon
Mikrobiyal/hayvansal ekstraktlar Ksantan, gellan, dekstran, kitosan	Püskürterek kurutma, koaservasyon, emülsifikasyon
Proteinler Gluten, kazeinler Peynir altı suyu tozu proteinleri, Jelatin	Akışkan yatak kaplama, püskürterek kurutma, koaservasyon, emülsifikasyon, ekstrüzyon, dondurarak kurutma
Lipitler Yağ asitleri ve alkoller Gliseritler Vakslar Lipozomlar	Akışkan yatak kaplama, püskürterek soğutma, ekstrüzyon, santrifüj süspansiyon ayırma, emülsifikasyon, lipozom tutuklama
Diğerleri PVP*, şelak Parafin	Püskürterek kurutma, akışkan yatak kaplama, püskürterek soğutma

*MC: Metilselüloz, HPMC: Hidroksipropil metilselüloz, HPC: Hidroksipropil selüloz, EMC: Etil metilselüloz, CMC: Karboksimetil selüloz, GA: Gam arabik (Arap zamkı), GT: Kitre (Ağaç sakızı), GK: Karaya zamkı, MG: Mesquite ağacı zamkı, LBG: Keçiyoynuzu zamkı, SSPS: Çözünür soya polisakkarit, PVP: Polivinilpirolidon



Şekil 1. Aroma enkapsüllerinin yapısı
A: Çekirdek, B: Kabuk ya da matris, C: Kaplama, D: Bağlayıcı madde [10]

Püskürterek soğutma ile enkapsülasyon sırasında ise, çekirdek materyal ve kaplama materyali soğuk hava bulunan ortama beslenmektedir. Çalışılan sıcaklığın düşük olmasından dolayı kaplama materyali, kaplanması amaçlanan materyal etrafında buharlaşma olmadan katılaşmaktadır. Püskürterek soğutma süresince evaporasyon işlemi olmadığından, püskürterek kurutma yöntemindeki gibi bir kütle transferi gerçekleşmemektedir [18]. Püskürterek soğutma yöntemi ile enkapsülasyon işleminde sıvı yağ ve türevleri kaplama materyali olarak ön plana çıkmaktadır.

Bunların haricinde, erime noktası 45-65°C aralığında olan mono ve diasilgliseroller ve 32-42°C aralığında olan hidrojenize bitkisel yağlar tercih edilebilmektedir [19, 11]. Genellikle kaplama maddesi olarak, polisakkaritler (nişasta ve türevleri, maltodekstrin, kitosan, pektin, gam), proteinler (peynir altı suyu izolatu, soya proteini izolatu, jelatin), fosfolipitler ve/veya kombinasyonları kullanılmaktadır [17, 20].

Aromaların enkapsülasyonunda uygulanan ekstrüzyon, göreceli olarak düşük sıcaklıkta gerçekleştirilen bir

tutulama yöntemidir. Çekirdek maddenin, erimiş karbonhidrat matrisi içerisinde bir dizi kalıp yoluyla dehidrate edilmesini içermektedir. Genellikle kullanılan basınç 100 psi değerinden küçük ve sıcaklık 115°C'tir. Yöntemde, kaplama materyali sıvılarla karşılaştıktan sonra katılaşmakta ve çekirdek materyali hapseden bir matris oluşturmaktadır [18].

Dondurarak kurutma genellikle aromalar, proteinler ve canlı mikroorganizmalar gibi ısıya duyarlı hassas biyolojik maddelerin korunması için kullanılan enkapsülasyon yöntemlerindedir [18, 4]. Dondurarak kurutma işlemi, materyal içerisindeki sıvının dondurulmasını ve dondurulmuş haldeyken vakum altında liyofilizasyonunu içermektedir [4]. Uzun süre dehidrasyon gerektiren (genellikle 20 saat) durumlar dışında, aromatik maddelerin enkapsülasyonu için uygun olan basit bir tekniktir. Liyofilizasyon sırasında uçucu bileşiklerin tutulabilmesi, sistemin kimyasal niteliğine bağlıdır [18].

Kimyasal mikroenkapsülasyon yöntemlerinden biri olan koaservasyon, birbirine karışmayan iki koloid sisteminde faz ayrılması olarak tanımlanmaktadır [4, 21]. Kaplama materyalinin çekirdek materyali homojen bir tabaka halinde çevrelemesi, sıvı fazdan ayrılmış polimerik çözelti ile sağlanmaktadır. İşlem sonrasında polimerik çözelti katılarak yapı oluşturulmaktadır [18].

Enkapsülasyonun başka bir yöntemi olan moleküler hapsedme, β -siklodekstrin enkapsülasyon ortamı olarak kullanılmaktadır. β -siklodekstrin, nişastanın siklik bir türevi olup; molekülün dış kısmı hidrofilik iken, iç kısım hidrofobiktir. Apolar olan moleküller, bir hidrofobik etkileşim yoluyla apolar yapılı iç kovuğa sıkıştırabilirler [18]. Gıda uygulaması olarak, aroma bileşenlerinin siklodekstrinler içinde enkapsüle edilebildiği bilinmektedir. Ayrıca, hidrofobik vitaminler (A, E veya K) gibi diğer katkı maddelerinin de moleküler hapsedme yöntemi ile kapsüle edilebileceği belirtilmektedir [22].

GIDA AROMALARINDA MİKROENKAPSÜLASYON UYGULAMALARI

Gıdalarda aromatik maddelerin enkapsülasyonu ile ilgili çalışmalar Tablo 3'te özetlenmiştir. Aromatik pirincin temel bileşeni olan 2-asetil-1-pirolinin çekirdek materyal olarak seçildiği çalışmada, püskürterek kurutma yöntemi ile mikroenkapsülasyon gerçekleştirilmiştir. Farklı oranlarda gam arabik ve maltodekstrin karışımları (70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70 ve 0:100) ile oluşturulan mikrokapsüller için püskürterek kurutmadan önce ve sonra aroma konsantrasyonlarının önemli derecede farklı olmadığı belirtilmiştir. Ayrıca depolama sonunda (72 gün) en iyi aroma korunumu (%27.7), 70:30 gam arabik:maltodekstrin karışımı ile elde edilen kapsüllerde belirlenmiştir. 72 günlük depolama sonrasında toz ürünlerdeki aroma miktarının 60:40, 50:50, 40:60, 30:70 ve 0:100 karışım oranları için sırasıyla % 33.4, 43.2, 35.7, 30.6 ve 32.6 azaldığı belirtilmiştir [23].

Yapılan bir çalışmada farklı maltodekstrin türlerinin ve farklı kurutma yöntemlerinin (püskürterek kurutma ve

dondurarak kurutma), durian aromasının fiziko-kimyasal ve duyuşal özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışmada kullanılan maltodekstrin türlerinin her üçünün de (glukoz şurubu GSS, fieldose PHS-15 ve pasilli) çekirdek materyalin enkapsülasyonuna uygun olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte glukoz şurubu, orijinal aromanın korunmasında en uygun kaplama materyali seçilmiştir. Hem fizikokimyasal hem de duyuşal analiz sonuçları göz önünde bulundurulduğunda, dondurarak kurutma yöntemiyle kurutulmuş tozların püskürterek kurutma yöntemi ile elde edilenlere göre % nem içeriği, renk, yığın yoğunluğu ve mikroyapı özelliklerinin yanı sıra, duyuşal açıdan daha iyi oldukları belirtilmiştir [24].

Aromatik bir gıda maddesi olan sumak ekstraktının, kaplama materyali olarak sodyum klorür, sakkaroz, glikoz ve nişasta ile enkapsüle edildiği çalışmada püskürterek kurutma yöntemi kullanılmıştır. Kaplama materyali olarak sakkaroz ve glikozun karamelizasyon nedeniyle yapışmaya; nişastanın ise heterojen yapısı nedeniyle tıkanmaya neden olduğu belirlenmiş ve işlem için yalnızca sodyum klorürün uygun olduğu belirtilmiştir. Kaplama:çekirdek materyal oranı sabit tutularak (4:1g/g), çözelti konsantrasyonları (%5, 10, 15, 20 ve 25) incelenmiştir. Sonuç olarak yüksek oranda çözünür katı içeriğe sahip çözeltilerle çalışılabilir ve konsantrasyonun arttırılabileceği belirtilmiştir [25].

Sumak ekstraktı üzerine yapılan bir diğer çalışmada, kaplama materyali olarak peynir altı suyu tozu, süt tozu ve guar gam ile püskürterek kurutma gerçekleştirilmiştir. Kaplama:çekirdek materyal oranı sabit tutulmuş (4:1g/g) ve çözelti konsantrasyonları %5, 10, 15, 20 ve 25 olarak seçilmiştir. Çalışmada, sumak ekstraktı ve süt tozu karışımının, çözelti asitliği sonucu çökmesi nedeniyle süt tozunun çekirdek materyale; yüksek su tutma kapasitesi ve viskoziteye sahip olan guar gamının ise sisteme uygun olmadığı belirtilmiştir. Peynir altı suyu tozunun işleme en uygun kaplama materyali olduğu ve kullanılan kaplama materyalinin püskürterek kurutma işlemini önemli derecede etkilediği bulgulanmıştır [26].

Sumak ekstraktı üzerine yapılan diğer bir enkapsülasyon çalışmasında, püskürterek kurutma tekniğinde uygulanan farklı kurutma koşullarının ve kaplama materyali olarak kullanılan maltodekstrin miktarının etkisi incelenmiştir. Toplam çözünabilir kuru madde içeriği %3.5 olarak belirlenen sumak ekstraktına maltodekstrin (DE 10-12) eklenerek oluşturulan çözelti konsantrasyonları 10, 15, 20 ve 25% (w / w) olarak seçilmiştir. Hava giriş ve çıkış sıcaklıklarının (160/80, 180/90 VE 200/100°C) yükselmesi ile toz ürün kalitesinde düşüş saptanmıştır. Bu nedenle en düşük hava giriş/çıkış sıcaklıklarının (160/80°C) ve %10 (w/w)'luk çözelti konsantrasyonunun uygulandığı deneme, çalışmanın en uygun koşul ve oranı olarak belirtilmiştir [27].

Emülsiyon ve toz partikül boyutunun, stabilite üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada çekirdek materyal olarak d-limonen seçilmiştir. Püskürterek kurutma tekniği ile gerçekleştirilen denemelerde kaplama materyali olarak gam arabik, maltodekstrin ve modifiye nişasta

kullanılmıştır. Toz ürün boyutunun, atomizör hızının değiştirilmesiyle etkili şekilde kontrol edilebileceği belirtilmiştir. Depolama sonunda büyük boyutlu partiküllerin, küçük boyutlu partiküllere oranla daha stabil ve daha düşük salıma sahip olduğu ifade edilmiştir. Bununla birlikte, modifiye nişasta kullanılarak enkapsüle edilen d-limonen için daha stabil bir ürün olduğu bulgulanmıştır [28].

Homojenizasyon parametrelerinin püskürterek kurutma ile elde edilen limon aroması tozu üzerine etkilerini inceleyen bir çalışmada, maltodekstrin ve gam arabik kaplama materyali olarak kullanılmıştır. Emülsiyon hazırlama aşamasında yüksek kesme homojenizasyonu (10 dak./24000 rpm) ve iki aşamalı basınçlı homojenizasyon (30/10 ve 60/20 MPa) işlemlerinin, toz ürün fiziksel özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Emülsiyonlarda aroma artışının, yüksek kesme homojenizasyonu için 2.4 ila 4 µm çapında bir artışa neden olduğu; basınç homojenizasyonunun ise çap boyutunu değiştirmedeği bulgulanmıştır. Her iki durumda da artan miktarda aroma içeren tozlarda, gözeneklilikte bir artış, parçacık boyutunun ve toplam renk farklarının yayılım gösterdiği ve çözünürlükte azalma gözlemlendiği belirtilmiştir [29].

Limonenin dondurarak kurutma yöntemi ile enkapsüle edildiği bir çalışmada ise, kaplama materyali olarak gam arabik, sakkaroz ve jelatin kullanılmıştır. Emülsiyonlar için yüksek basınçta homojenizasyon (25-100 MPa) işlemi denenmiş; 9:1 ve 8.5:1.5 olmak üzere iki farklı toplam katı madde:limonen oranında çalışılmıştır. Gam arabik-sakkaroz-jelatin karışımından (1:1:1 w/w/w) oluşan çözeltinin 100 MPa'lık basınçta limonen için en yüksek miktardaki tutulmayı (84%) sağladığı belirtilmiştir [30].

Farklı kaplama malzemeleri (maltodekstrin, soya proteini, gamarabik, polisorbato80) kullanılarak mandalina aromasının enkapsüle edildiği çalışmada püskürterek kurutma yöntemi uygulanmıştır [31]. Emülsiyon karakterizasyonunun ve hava giriş sıcaklığı, hava çıkış sıcaklığı, atomizasyon hızı gibi kurutma işletme koşullarının, enkapsüle ürün ve kurutucu performansı üzerine etkisi araştırılmıştır. Emülsiyon basamağı için %15.9 maltodekstrin, %15.9 gam arabik ve %0.2 polisorbato80 kullanılmıştır. Sonuçta, en uygun püskürterek kurutma işlem parametreleri olarak, d-limonen ve α-linalol için enkapsülasyon etkinliğinin yüksek olduğu (> %95) koşullar; sırasıyla 213°C ve 90°C hava giriş ve çıkış sıcaklıkları ve 35000 rpm'lik bir atomizer disk hızı belirlenmiştir.

Çekirdek materyalin l-mentol olduğu bir çalışmada, salım karakterinin incelenmesi amacıyla kaplama materyalleri olarak seçilen gam arabik ve modifiye nişasta (Capsul ve HI-CAP 100) ile püskürterek kurutma yapılmıştır. Başlangıçtaki emülsiyon katı madde konsantrasyonunun artmasıyla birlikte toz üründe aroma tutulmasının daha uzun sürdüğü ve modifiye nişasta HI-CAP ile daha yüksek oranda aroma belirtilmiştir. Ayrıca bağıl nem ve sıcaklık artışı ile serbest bırakılma oranının arttığı bulunmuştur [32].

Püskürterek soğutma gerçekleştirilen bir çalışmada, limonen, nikotin, metil salisilat, sinamik aldehit ve Neobee M5 maddeleri enkapsüle edilmiştir. Her bir deneme için, seçilen çekirdek materyal (10-40 g/100 g kütle oranlarında) ile susuz bir şeker alkolü olan eritritolden oluşan eriyik taşıyıcı ortam olarak kullanılmıştır. Oluşan toz ürünlerin yüksek hacim yoğunluğuna ve serbestçe akan bir karaktere sahip olduğu belirtilmiştir. Ayrıca ısıtma işlemi sonucunda aktif maddelerin, eritritolün yaklaşık 120°C'da eriyene kadar uçucu hale gelmeden korunduğu bulgulanmıştır. Çoğu durumda enkapsülasyon etkinliğinin %90 üzerinde olduğu belirlenmiştir [33].

Yapılan bir çalışmada, β-pinen çekirdek materyal olarak seçilerek süt proteinleri ile kompleks koaservasyonu araştırılmıştır. Kaplama materyali olarak kazeinat, peynir altı suyu protein izolatu ve karboksimetilselüloz kullanılmıştır. Değerlendirilen ürün özelliklerinin çoğunda, işlem değişkenlerinden etkilenmesine rağmen β-pinenin süt proteinleri ve karboksimetilselüloz ile kompleks koaservasyonla kapsüllenmesinin mümkün olduğu belirtilmiştir. Ayrıca çapraz bağlayıcıların kullanımı ile, süt proteinlerinin enkapsülasyon verimliliğinin artırabileceği belirtilmiştir [34].

Bir çeşit manolya türü olan ekstraktın (Michelia alba D.C.) çekirdek materyal olarak seçildiği çalışmada, püskürterek kurutma yöntemi kullanılmıştır. Kaplama materyali olarak bir çeşit modifiye nişasta olan oktanik süksinik anhidrat (OSA) seçilmiştir. Ekstrakt (5-15 g/100 g kuru nişasta) ve OSA nişastası (25-100 g/100 mL su) için yapılan optimizasyon sonunda formülasyon, 15.00 g ekstrakt/100 g kuru nişasta ve 96.32 g OSA nişastası/100 mL su olarak belirlenmiştir. Bu nokta için geri kazanım %40.65 ve enkapsülasyon etkinliği %68.91 değerleri ile en yüksek bulunmuştur. Ayrıca, ekstrakt içeriğindeki aromatik bileşenlerden linalol ve verbenonun, 2-metil bütanoik aside göre enkapsüllenen matriste daha uzun süre korunduğunu belirtilmiştir [35].

Rodriguez ve ark'nın [36] yaptıkları incelemede, vanilya ekstraktı ve nişasta türevleri (Capsul ve Hi Cap 100) ile çalışılmıştır. Enkapsülasyon etkinliğinin belirlendiği çalışmada, kaplama materyali tekstürü ve aroma korunumu arasında ilişki kurulmuştur. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) görüntülerine göre dondurarak kurutma uygulanan örnekler arasında, kaplama materyalleri için önemli bir fark gözlenmemiştir. Buna karşın püskürterek kurutma yapılan örneklerde fark belirlenmiş; vanilya ekstraktı bulunan kapsülde ortalama partikül çapının, vanilya ekstrakt oranının artırılması ile (2.5 ve 5) azaldığı gözlemlenmiştir. Kaplama materyali olarak Capsul'un, Hi Cap 100'e göre tekstür ve aroma korunumu bakımından daha iyi olduğu belirlenmiştir.

Vanilya ekstraktının kullanıldığı ve püskürterek kurutma yönteminin uygulandığı bir enkapsülasyon çalışmasında, kaplama materyali olarak maltodekstrin (DE 10) ve modifiye nişastanın (Flomax 8) karışım oranları (1:0, 1:1, 0:1, 1:2, 2:1), kaplama materyali konsantrasyonları (%10, 20, 30) ve vanilya ekstraktının kaplama materyaline oranları (3:2, 2:1, 3:1)

incelenmiştir. Kaplama materyali karışımlarında en yüksek verim 2:1 oranındaki maltodekstrin ve modifiye nişastada bulunurken; en yüksek vanilin içeriği ve geri kazanımında ise kaplama materyali konsantrasyonu %30 olarak belirlenmiştir [37, 38].

Püskürterek kurutma yöntemi ile vanilya ekstraktının enkapsüle edildiği diğer bir çalışmada, kaplama materyali olarak mısır nişastası kullanılmıştır. Karışım kuru madde oranı %50 değerinde tutularak ve karışım içerisinde %10, 20 ve 30 oranında vanilya ekstraktı kullanılarak denemeler gerçekleştirilmiştir. 170, 180 ve 190°C hava giriş sıcaklıklarında yapılan denemelerde optimum sıcaklık 180°C ve optimum vanilya ekstraktı oranı karışım içerisinde %10 olarak belirlenmiştir. Enkapsülasyon etkinliğinin ise % 66-81.93 aralığında değiştiği saptanmıştır [39]. Aynı kuru madde oranları, vanilya ekstraktı oranları ve hava giriş sıcaklıklarının uygulandığı bir diğer çalışmada, kaplama materyali (maltodekstrin ve mısır nişastası) oranları üzerine odaklanılmıştır. Çalışma sonucunda aroma korunumu için 1:3 kaplama materyali karışım oranının, 3:1 oranına göre daha iyi olduğu belirlenmiştir. 170, 180 ve 190°C hava giriş sıcaklıklarında yapılan denemelerde, enkapsülasyon etkinliği ve kaliteli ürün açısından optimum sıcaklık 180°C ve optimum vanilya ekstraktı oranı karışım içerisinde %10 olarak belirlenmiştir [40]. Yine aynı kuru madde oranları, vanilya ekstraktı oranları ve hava giriş sıcaklıklarının incelendiği çalışmada, kaplama materyali olarak yalnızca maltodekstrin kullanılmıştır. Sonuç olarak optimum nokta olarak seçilen, karışım içerisinde %10 vanilya ekstraktı bulunan karışımın 190°C hava giriş sıcaklığında kurutulmasında enkapsülasyon etkinliği daha yüksek (%76.6) bulunmuştur [41].

Çekirdek materyal olarak vanilya ekstraktının seçildiği bir diğer çalışmada, kaplama materyali olarak farklı dekstroz eşdeğerliği olan maltodekstrinler (DE 10 ve DE 20) kullanılmıştır. Yüksek verim elde etmek için konsantre vanilya ekstraktı, mikroakışkanlaştırma basamağının ardından dondurarak kurutma ile enkapsüle edilmiştir. Sonuçlar, 70 MPa basınçta 2 kez yapılan mikroakışkanlaştırma çevrimi ve dondurarak kurutma işlemi sonrasında, 95:5 ve 90:10 oranlarındaki MD20: MD10 karışımının yüksek enkapsülasyon etkinliği (>95%) sağladığını göstermiştir [42].

Vanilinin çekirdek materyal olarak seçildiği bir çalışmada peynir altı suyu proteini izolatu, β -siklodekstrin ve bunların kombinasyonu ile enkapsülasyon gerçekleştirilmiştir. Sentetik aroma maddesi olan ve

yüksek uçuculuğa sahip vanilin için, püskürterek ve dondurarak kurutma (SFD), püskürterek kurutma (SD) ve dondurarak kurutma (FD) yöntemleri ile kaplama materyallerinin ürün stabilitesi üzerine etkileri incelenmiştir. Isıl olmayan ve iki basamaktan oluşan SFD yönteminde, her iki yöntem için (SD ve FD) belirlenen parametreler (sabit basınç, sıcaklık ve besleme hızı) ile püskürterek kurutma işleminin ardından konvansiyonel dondurarak kurutma işlemi uygulanmıştır. Çalışma sonucunda en uygun kaplama materyali olarak belirtilen peynir altı suyu proteini izolatu kullanılarak gerçekleştirilen denemelerde enkapsülasyon etkinliği, püskürterek kurutma (SD için %86.2) yönteminde diğerlerine kıyasla (SFD ve FD için sırasıyla %72 ve 76.8) daha yüksek olarak bulgulanmıştır. Termal stabilite ve rehidrasyon özelliklerine göre ise ısıl olmayan SFD ön plana çıkmaktadır [43].

Çekirdek materyal olarak seçilen vanilin, kontrollü salım amacıyla çoklu emülsiyon tekniği ile katman katman membran uygulamanın denendiği ve püskürterek kurutma yönteminin uygulandığı bir çalışmada, kaplama materyali olarak soya proteini izolatu, modifiye nişasta ve kitosan kullanılarak enkapsüle edilmiştir. Kuru temelde farklı konsantrasyonlarda maltodekstrin çözeltileri (ağırlıkça 5–15%), vanilin konsantrasyonları (ağırlıkça 0.1–0.4%) ve hava giriş sıcaklıklarında (180-200°C) yapılan çalışmalar sonucunda optimum nokta için enkapsülasyon etkinliği, %nem içeriği ve partikül boyutu göz önünde bulundurulmuştur. Sonuç olarak, kuru temelde % 8.5 maltodekstrin konsantrasyonu ve % 0.36 vanilin konsantrasyonu ile 184°C hava giriş sıcaklığı optimum nokta olarak bulunmuştur. Enkapsüle ürünün 37°C ve 80°C'ta su içerisindeki salımı incelenmiş; 3 katman uygulanan enkapsülasyon denemelerinde düşük nem içeriği avantajına karşın, sınırlı suda çözünebilirlik dezavantajı belirlenmiştir [44, 45].

Doğal ve sentetik kahve aromaları moleküler hapsedme yöntemi ile β -siklodekstrin kullanılarak enkapsüle edilmiştir. Kompleksleştirme işlemi için kahve aroması, 55°C'taki β -siklodekstrin çözeltilisine eklenmiş ve 22°C'a kademeli olarak soğutulmuştur. Oluşturulan kristaller, su ile temas ettikten sonra ise komplekse bağlı aroma maddeleri hızla serbest bırakılmıştır. Çalışmada yağimsı, yağlı veya sıvı olmak üzere kahve aroma konsantratlarının mikrokristalin kararlı bir komplekse dönüşümünün, instant kahve ürünlerinin duyu özelliklerini ve kalitesini artırmak için katkı sağlayacağı belirtilmiştir [46].

Tablo 3. Gıda aroma bileşenleri ve ekstraktları üzerine gerçekleştirilen mikroenkapsülasyon çalışmaları

Yöntem	Çekirdek Materyal	Kaplama Materyali	Parametreler	Kaynak
Püskürterek kurutma	2-asetil-1-pirolin (Pirinç aroması)	Gam arabik, maltodekstrin	Hava giriş sıcaklığı: 150°C Hava çıkış sıcaklığı: 80°C Besleme hızı: 475 mL/h Hava akış hızı: 63 m ³ /h	[23]
Püskürterek kurutma, dondurarak kurutma	Durian aroması	Maltodekstrin (glukoz şurubu GSS, fieldose PHS-15 ve pasilli)	Püskürterek kurutma: Hava giriş sıcaklığı: 150°C Hava çıkış sıcaklığı: 98°C Dondurarak kurutma: -80°C/36h	[24]
Püskürterek kurutma	Sumak ekstraktı	Sodyum klorür, sakkaroz, glikoz, nişasta	Hava giriş sıcaklığı: 200°C Hava çıkış sıcaklığı: 100°C Besleme hızı: 125mL/h	[25]
Püskürterek kurutma	Sumak ekstraktı	Peynir altı suyu tozu, süt tozu, guar gam	Hava giriş sıcaklığı: 200°C Hava çıkış sıcaklığı: 100°C Besleme hızı: 125mL/h	[26]
Püskürterek kurutma	Sumak ekstraktı	Maltodekstrin	Hava giriş sıcaklığı: 160,180,200°C Hava çıkış sıcaklığı: 80,90,100°C	[27]
Püskürterek kurutma	D-limonen	Gam arabik, maltodekstrin, modifiye nişasta	Hava giriş sıcaklığı: 200°C Hava çıkış sıcaklığı: 110°C Besleme hızı: 45mL/min	[28]
Püskürterek kurutma	Limon aroması	Maltodekstrin, gam arabik	Yüksek basınç ile homojenizasyon: 10dak/24000 rpm İki aşamalı homojenizasyon: 30/10, 60/20 MPa Hava giriş sıcaklığı: 160°C Hava çıkış sıcaklığı: 65°C	[29]
Dondurarak kurutma	Limonen	Gam arabik, sakkaroz, jelatin	Yüksek basınçta homojenizasyon: 25-100 MPa Dondurarak kurutma: -20°C/12h, -80°C/24h	[30]
Püskürterek kurutma	Mandalina aroması	Maltodekstrin, soya proteini, gam arabik, polisorbat80	Hava giriş sıcaklığı: 156-213°C Hava çıkış sıcaklığı: 90-100°C Atomizasyon hızı: 23000-35000rpm	[31]
Püskürterek kurutma	L-mentol	Gam arabik, modifiye nişasta (Capsul ve HI-CAP 100)	Hava giriş sıcaklığı: 180°C Hava çıkış sıcaklığı: 100°C Besleme hızı: 45 mL/min Hava akış hızı: 100 kg/h	[32]
Püskürterek soğutma	Limonen, nikotin, metil salisilat, sinamik aldehit ve Neobee M5	Susuz eritritol	Püskürtücü basıncı: 70-350 kPa	[33]
Kompleks koaservasyon	β-pinen	Kazeinat, peynir altı suyu protein izolatu, karboksimetilselüloz	Emülsiyon pH değeri: 2.8 Koaservasyon: 4°C/20h Dondurarak kurutma: 5-6h	[34]
Püskürterek kurutma	Michelia alba ekstraktı (linalol, verbenon, 2-metil bütanoik asit)	Oktanik süksinik anhidrat (OSA)	Hava giriş sıcaklığı: 150°C Hava çıkış sıcaklığı: 50°C	[35]

Püskürterek kurutma, dondurarak kurutma	Vanilya ekstraktı	Niştasta türevleri (Capsul ve Hi Cap 100)	Püskürterek kurutma: Hava giriş sıcaklığı: 170°C Hava çıkış sıcaklığı: 90°C Besleme hızı: 8 mL/min Dondurarak kurutma: -18°C/24h, 0.023-0.63 mbar	[36]
Püskürterek kurutma	Vanilya ekstraktı	Maltodekstrin, modifiye niştasta (Flomax 8)	Hava giriş sıcaklığı: 140–150°C Hava çıkış sıcaklığı: 70–80°C	[37] [38]
Püskürterek kurutma	Vanilya ekstraktı	Maltodekstrin, mısır niştastası	Hava giriş sıcaklığı: 170, 180, 190°C	[39] [40] [41]
Dondurarak kurutma	Vanilya ekstraktı	Maltodekstrin (DE 10, DE 20)	Dondurarak kurutma: -70°C/24 h, -40°C/0.3 mbar	[42]
Püskürterek kurutma, dondurarak kurutma	Vanilin	Peynir altı suyu proteini izolatu, β-siklodekstrin	Püskürterek kurutma: Hava giriş sıcaklığı: 110°C Hava çıkış sıcaklığı: 60°C Besleme hızı: 20 mL/min Dondurarak kurutma: -24°C/16h	[43]
Püskürterek kurutma	Vanilin	Soya proteini izolatu, modifiye niştasta, kitosan	Hava giriş sıcaklığı: 180-200°C	[44] [45]
Moleküler hapsedme	Kahve aroması	β-siklodekstrin	Emülsiyon: 55-22°C/4-5h Kristalizasyon: 4°C/16h	[46]

SONUÇ

Gıda endüstrisinde son yıllarda gelişen tüketici tercihleri ve yeni teknolojiler ile birlikte, ürünlerin raf ömrü uzun olabilmekte ve hammaddeden beklenen çeşitli özellikler daha iyi şekilde korunabilmektedir. Bununla birlikte, uzun raf ömrü ve gıdanın özelliklerinin korunabilmesi için, çevreye duyarlı şekilde üretilen maddelerin kullanıldığı ve buna yönelik sistemlerin geliştirildiği bilinmektedir. 20. yüzyılda ortaya çıkan ve sürekli yapılan çalışmalar sonucu gelişmeye devam eden mikroenkapsülasyon yöntemleri ile, ürün raf ömrünün yanı sıra duyuşsal ve besleyici özelliklerinde artış sağlanabilirken; gıda ürününün kullanım yeri, işlem koşullarına da bağlı olarak geniş bir tercih ve uygulama aralığı bulunmaktadır. Mikroenkapsülasyon teknolojileri ile ayrıca çekirdek materyalin reaktivitesi azaltılarak ısı, nem, hava ve ışık gibi dış ortam koşullarına karşı bozunması engellenmekte ve korunabilmekte, çekirdek materyalin dış ortama doğru transfer hızı azaltılmakta/engellenmektedir. Bu yöntemlerle ilgili yapılan yeni çalışmalarla birlikte potansiyel tüketici ihtiyaçları belirlenmekte ve endüstriyel ölçüğe taşınan sistemler ile ticari açıdan kolaylıkla karşılanabilmektedir. Öncelikli olarak, çekirdek materyalin ve kaplama materyali/materyallerinin özellikleri ve bu maddelerin birbirleri ile etkileşimleri araştırılarak; belirlenen özelliklere uygun mikroenkapsülasyon yöntemleri seçilebilmektedir. Sonuç olarak tüketici eğilimleri doğrultusunda, çalışılması hedeflenen yeni ürünler ve buna bağlı olarak yeni yöntem ve sistemlerin geliştirilmeye devam etmesi beklenmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, "Vanilya Ekstraktının Püskürterek Kurutma ve Püskürterek Soğutma Yöntemleri ile Enkapsülasyonu ve Model Gıda Sistemi İçerisinde Kullanımı" başlıklı yüksek lisans tezinin bir bölümünü kapsamaktadır ve Ege Üniversitesi 17-MÜH-026 numaralı Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) kapsamında maddi olarak desteklenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Renu, R., Zehra, F., 2015. Microencapsulation of flavours. *International Journal of Basic and Applied Biology* 2(5): 333–338.
- [2] Poshadri, A., Kuna, A., 2010. Microencapsulation technology: A review. *The Journal of Research ANGRAU* 38(1): 86–102.
- [3] Fang, Z., Bhandari, B., 2010. Encapsulation of polyphenols - a review. *Trends in Food Science & Technology* 21: 510-523.
- [4] Sobel, R., Versic, R., Gaonkar, A.G., 2014. Introduction to Microencapsulation and Controlled Delivery in Foods. Microencapsulation in the Food Industry A Practical Implementation Guide, Edited by Gaonkar, A.G., Vasisht, N., Khare, A.R., Sobel, R., Elsevier, Chapter 1, 3-12p.
- [5] Koç, M., Sakin, M., Kaymak-Ertekin, F., 2010. Mikroenkapsülasyon ve gıda teknolojisinde kullanımı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 16(1): 77–86.
- [6] Barbosa-Canovás, G.V., Ortega-Rivas, E., Juliano,

- P., Yan, H., 2005. Encapsulation Processes. Food Powders: Physical Properties, Processing, and Functionality, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 199-218p.
- [7] Teunou, E., Poncelet, D., 2005. Fluid-Bed Coating. Encapsulated and Powdered Foods, Edited by Onwulata, C., Taylor & Francis Group, LLC, 197-212p.
- [8] El-Abbasi, A., El Fadeli, S., El-Bouzidi, L., Lahrouni, M., Nauman, K., 2015. Recent advances in microencapsulation of bioactive compounds. *Analytical and Processing Techniques* 41(April): 129-146.
- [9] Druaux, C., Voilley, A., 1997. Effect of food composition and microstructure on volatile flavour release. *Trends in Food Science & Technology* 8(November): 364-368.
- [10] Uhlemann, J., Reiß, I., 2010. Product design and process engineering using the example of flavors. *Chemical Engineering & Technology* 33(2): 199-212.
- [11] Madene, A., Jacquot, M., Scher, J., Desobry, S., 2006. Review Flavour encapsulation and controlled release – a review. *International Journal of Food Science and Technology* 41: 1-21.
- [12] Reineccius, G.A., 1995. Controlled Release Techniques in the Food Industry. Encapsulation and Controlled Release of Food Ingredients, American Chemical Society, Chapter 2, 8-25.
- [13] Pothakamury, U.R., Barbosa-Canovas, G.V., 1995. Fundamental aspects of controlled release in foods. *Trends in Food Science & Technology* 6(December): 397-406.
- [14] Eichler, K., 2003. Trend in the European Encapsulation Market. *Food Marketing and Technology* 17: 42-44.
- [15] Moreau, D.L., Rosenberg, M., 1996. Oxidative stability of anhydrous milkfat microencapsulated in whey proteins. *Journal of Food Science* 61(1): 39-43.
- [16] Benita S., 1996. Microencapsulation Methods and Industrial Applications. Marcel Dekker, INC, USA.
- [17] 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: 1107-1121.
- [18] Desai, K.G.H., Park, H.J., 2005. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. *Drying Technology* 23(7): 1361-1394.
- [19] Taylor, A.H., 1983, Encapsulation systems and their applications in the flavor industry. *Food Flavor Ingredient and Process Packaging* 4(Sept): 48-52.
- [20] Gibbs, B.F., Kermasha, S., Alli, I., Mulligan, C.N., 1999. Encapsulation in the food industry : a review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 50(3): 213-224.
- [21] Buldur, P.M., 2012. Encapsulation of Food Flavors via Coacervation Method. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 53p.
- [22] Gouin, S., 2004. Microencapsulation: Industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends in Food Science & Technology* 15(7-8): 330-34.
- [23] Apintanapong, M., Noomhorm, A., 2003. The use of spray drying to microencapsulate 2-acetyl-1-pyrroline, a major flavour component of aromatic rice. *International Journal of Food Science and Technology* 38(2): 95-102.
- [24] Che Man, Y.B., Irwandi, J., Abdullah, W.J.W., 1999. Effect of different types of maltodextrin and drying methods on physico-chemical and sensory properties of encapsulated durian flavour. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 79(8): 1075-1080.
- [25] Bayram, Ö.A., Bayram, M., Tekin, A.R., 2005. Spray drying of sumac flavour using sodium chloride, sucrose, glucose and starch as carriers. *Journal of Food Engineering* 69(2): 253-260.
- [26] Bayram, Ö.A., Bayram, M., Tekin, A.R., 2008. Whey powder as a carrier in spray drying of sumac concentrate. *Journal of Food Process Engineering* 31(1): 105-119.
- [27] Caliskan, G., Dirim, S.N., 2013. The effects of the different drying conditions and the amounts of maltodextrin addition during spray drying of sumac extract. *Food and Bioproducts Processing* 91(4): 539-548.
- [28] Soottitantawat, A., Bigeard, F., Yoshii, H., Furuta, T., Ohkawara, M., Linko, P., 2005. Influence of emulsion and powder size on the stability of encapsulated D-limonene by spray drying. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 6: 107-114.
- [29] Janiszewska, E., Jedlińska, A., Witrowa-Rajchert, D., 2015. Effect of homogenization parameters on selected physical properties of lemon aroma powder. *Food and Bioproducts Processing* 94: 405-413.
- [30] Kaushik, V., Roos, Y.H., 2007. Limonene encapsulation in freeze-drying of gum Arabic-sucrose-gelatin systems. *LWT - Food Science and Technology* 40(8): 1381-1391.
- [31] García-Cárdenas, J.A., Ciro-Velásquez, H.J., Largo-Ávila, E., 2015. Encapsulation of mandarin citrus flavor using spray drying technology and different wall materials. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 18(1): 251 - 260.
- [32] Soottitantawat, A., Takayama, K., Okamura, K., Muranaka, D., Yoshii, H., Furuta, T., Ohkawara, M., Linko, P., 2005. Microencapsulation of l-menthol by spray drying and its release characteristics. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 6(2): 163-170.
- [33] Sillick, M., Gregson, C.M., 2012. Spray chill encapsulation of flavors within anhydrous erythritol crystals. *LWT - Food Science and Technology* 48(1): 107-113.
- [34] Koupantsis, T., Pavlidou, E., Paraskevopoulou, A., 2014. Flavour encapsulation in milk proteins - CMC coacervate-type complexes. *Food Hydrocolloids* 37: 134-142.
- [35] Samakradhamrongthai, R., Thakeow, P., Kopermsub, P., Utama-ang, N., 2016. Microencapsulation of white champaca (*Michelia alba* D.C.) extract using octenyl succinic anhydride (OSA) starch for controlled release aroma. *Journal*

- of Microencapsulation* 33(8): 773–784.
- [36] Rodríguez, S.D., Wilderjans, T.F., Sosa, N., Bernik, D.L., 2013. Image texture analysis and gas sensor array studies applied to vanilla encapsulation by octenyl succinic anhydride starches. *Journal of Food Research* 2(2): 36–48.
- [37] Setyaningsih, D., Rahmalia, R., Sugiyono, D., 2010. Kajian mikroenkapsulasi ekstrak vanili. *J. Tek. Ind. Pert* 19(2): 64–70.
- [38] Rahmalia, R., 2008. Kajian Mikroenkapsulasi Ekstrak Vanili Dan Retensi Vanilin Selama Penyimpanan. Bogor Pertanian Enstitüsü, Bogor, 82p.
- [39] Sariga, S., Prince, M.V., 2015. Influence of flavour load and inlet air temperature on microencapsulation of vanilla extract. *Trends in Biosciences* 8(16): 4196–4201.
- [40] Sariga, S., Prince, M.V., Sudheer, K.P., Sean, Y.D., 2016. Influence of wall material blend, flavour load and inlet air temperature on microencapsulation of vanilla extract. *Advances in Life Sciences* 5(6): 2116–2120.
- [41] Sariga, S., Prince, M.V., 2016. Effect of flavour load and inlet air temperature on microencapsulation of vanilla extract with maltodextrin as wall material. *International Journal of Applied And Natural Sciences* 5(2): 21–26.
- [42] Ocampo-Salinas, I.O., Jiménez-Aparicio, A., Perea-Flores, M.J., Tapia-Ochoategui, A., Salgado-Cruz, M.P., Jiménez-Martínez, C., Téllez-Medina, D.I., Dávila-Ortiz, G., 2017. High-pressure homogenization and maltodextrins mixtures to microencapsulate vanilla (*Vanilla planifolia*) extract through freeze-drying. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 16(1): 131–146.
- [43] Hundre, S.Y., Karthik, P., Anandharamakrishnan, C., 2015. Effect of whey protein isolate and β -cyclodextrin wall systems on stability of microencapsulated vanillin by spray-freeze drying method. *Food Chemistry* 174: 16–24.
- [44] Noshad, M., Mohebbi, M., Shahidi, F., Koocheki, A., 2015. Effect of layer-by-layer polyelectrolyte method on encapsulation of vanillin. *International Journal of Biological Macromolecules* 81: 803–808.
- [45] Noshad, M., Mohebbi, M., Koocheki, A., Shahidi, F., 2015. Microencapsulation of vanillin by spray drying using soy protein isolate-maltodextrin as wall material. *Flavour and Fragrance Journal* 30(5): 387–391.
- [46] Szente, L., Szejtli, J., 1986. Molecular encapsulation of natural and synthetic flavor with β -cyclodextrin. *Journal of Food Science* 51(4): 1024–1027.
-