



GIDA BİLEŞENLERİNİN SPREY SOĞUTMA YÖNTEMİ İLE ENKAPSÜLASYONU

Emine Varhan , Mehmet Koç 

Cite this article as:

Varhan, E., Koç M. (2018). Gıda Bileşenlerinin Sprey Soğutma Yöntemi ile Enkapsülasyonu. Food and Health, 4(3), 202-212. DOI: 10.3153/FH18021

Adnan Menderes Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi, Gıda
Mühendisliği Bölümü, 09010
Aydın, Türkiye

Submitted: 22.08.2017

Accepted: 13.02.2018

Published online: 01.04.2018

Correspondence:

Mehmet KOÇ

E-mail: mehmetkoc@adu.edu.tr

ÖZ

Sprey soğutma yöntemi ile gıda bileşenlerinin enkapsülasyonu son yıllarda dikkat çeken bir teknoloji olup, özellikle ısıya ve suya duyarlı aktif maddelerin kaplanması için kullanılmaktadır. Sprey soğutma yöntemi, aktif maddenin kaplama materyali veya materyalleri içerisine dispersiyonu, bu karışımın atomizasyonu ve katılaştırma aşamalarından oluşmaktadır. Sprey soğutma yöntemi ile enkapsülasyon işlemi mumlar, hidrojenize yağlar, yağ asitleri ve düşük sıcaklıklarda jel oluşturma özelliği iyi olan protein ve karbonhidratlar kaplama materyalleri olarak kullanılmaktadır. Kaplama materyallerinin tipi ve karışım oranı diğer enkapsülasyon yöntemlerinde olduğu gibi sprej soğutma yönteminde de enkapsülasyon etkinliğini belirleyen önemli özelliklerdir. Sprej soğutma yönteminin kullanıldığı çalışmalarda genellikle aromalar, vitaminler, mineraller, yağlar ve probiyotikler enkapsüle edilmiştir. Bu çalışmalarda kullanılan kaplama materyallerinin çeşidinin ve oranının enkapsülasyon etkinliği üzerine etkisi ve/veya depolama süresince enkapsüle edilen aktif maddenin stabilitesi incelenmiştir. Bu derleme çalışmasında, sprej soğutma yönteminin enkapsülasyon işlemi için kullanılabilirliği ve literatürde gerçekleştirilen çalışmaların kapsamı detaylı olarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sprej soğutma, Enkapsülasyon, Hidrojenize yağlar, Vitaminler, Enkapsülasyon etkinliği

ABSTRACT

ENCAPSULATION OF FOOD MATERIALS WITH SPRAY COOLING METHOD

Encapsulation of food materials with spray cooling has been a remarkable technology in recent years and is especially used for encapsulating heat and water sensitive active materials. The spray cooling method comprises the dispersion of the active material into the coating material or materials, the atomization of the mixture and the solidification stages. In the food industry, aromas, vitamins, oils and probiotics can be encapsulated by using spray cooling method. Waxes, hydrogenated oils, fatty acids and, proteins and carbohydrates that are good at forming gels at low temperatures are used as coating materials in the encapsulation process by spray cooling. The type and mixing ratio of coating materials are the most important features that determine the encapsulation efficiency in spray cooling as well as in other encapsulation methods. Aromas, vitamins, minerals, oils and prebiotics are mostly encapsulated in the studies where spray cooling method is used. In these studies, the effect of coating material type and ratio on encapsulation efficiency and/or the storage stability of active material have been investigated. In this review study, usability of spray cooling method in encapsulation process and the scope of the studies carried out in the literature have been evaluated.

Keywords: Spray cooling, Encapsulation, Hydrogenated oil, Vitamins, Encapsulation efficiency

Giriş

Gıda tüketim tercihlerinin ve davranışlarının değişime uğraması sonucunda, sağlıklı beslenme ve hazır gıda kavramları birbirleriyle bağlantılı olarak her geçen gün önem kazanmaktadır. Günümüzde hızlı yaşam koşullarına uygun, hazır ve kolay tüketilebilir gıdaların talebi doğrultusunda değişen tüketici istekleri dikkate alınarak, gıda sanayi hazır gıda ve farmasötik ürünler üzerinde yenilikçi bir vizyonla çalışmalarını yürütmektedir (Zungur, 2013). Enkapsülasyon teknolojisi de fonksiyonel ve spesifik gıda talebi doğrultusunda gıdanın türüne bağlı olarak gelişim göstermekte ve gıda içerisindeki aktif bileşenin korunumu, tat ve kokusunun maskelenmesi, hedeflenen doğrultuda kontrollü salınım ve kolay taşınım, depolanması gibi yönleriyle fayda sağlamaktadır.

Enkapsülasyon; bir maddenin veya karışımın başka bir madde ile kaplanması veya hapsedilmesi olarak tanımlanmakta ve elde edilen ürün boyutuna bağlı olarak makro, mikro veya nano ön ekleri alarak isimlendirilmektedir (Koç vd., 2010).

Enkapsülasyon işleminde nişasta, maltodekstrin, pullulan, sakkaroz, maltoz gibi karbonhidratlar; jelatin, peynir altı suyu proteinleri, kazein, kazeinatlar gibi proteinler ve gamlar (Koç vd., 2010) tercih edilerek genellikle kabuk, duvar, membran, taşıyıcı veya kapsül oluşturucu olarak adlandırılmaktadırlar. Bu kaplama materyalleri ile kaplanacak olan hassas malzemeye (katı ve sıvı yağlar, aroma ve tat bileşenleri, vitaminler, mineraller, renk bileşenleri ve enzimler) ise iç faz, çekirdek veya aktif madde adı verilir (Sagis, 2015).

Enkapsülasyon uygulaması başta gıda olmak üzere, tarım, ilaç, enerji ve savunma gibi alanlarda kullanılmakta olup, temel amaçları:

- Uyumsuz bileşikler ayırma,
- Sıvı materyalin katı hale getirilmesi,
- Olumsuz çevre koşullarına karşı stabiliteyi artırma (oksidasyon ve deaktivasyona karşı mikroenkapsüle materyali korumak),
- Mikroenkapsüle edilen materyalin tat ve kokusunun maskelenmesi,
- Aktif bileşiklerin uçuculuğunun önlenmesi,
- Mikroenkapsüle materyallerin hedeflendiği şekilde kontrollü olarak salınımının sağlanması,
- Kaplanan çekirdek materyalin diğer bileşenlerle reaksiyonlara girmesinin önlenmesi,

- Mevcut çevrenin korunması,
- Malzemenin daha kolay taşınması ve depolanması şeklinde açıklanabilir (Ünal ve Erginkaya, 2010; Sagis, 2015).

Fonksiyonel ve spesifik gıda üretimi için bir çok gıdanın enkapsülasyonunda, gıdanın türüne bağlı olarak sprey kurutma, sprey soğutma, dondurarak kurutma, akışkan yatak kaplama, ekstrüzyon, koaservasyon, kokristalizasyon ve lipozom tutuklama gibi çeşitli metotlar tercih edilerek, kullanılabilir (Koç vd., 2010; Alvim vd., 2016).

Bu derlemede jel mikropartikül üretimine uygun ve ucuz teknolojik bir yöntem olduğu düşünülen sprey (püskürtmeli) soğutma yöntemi üzerinde durularak, genel itibarıyla enkapsüle edilecek çekirdek materyalini oluşturan bileşik yapısına etkisi hakkında bilgi sunulacaktır.

Sprey Soğutma Yöntemi ile Enkapsülasyon

Gıda maddelerinin enkapsülasyonu üzerine son zamanlarda çok fazla çalışma yapılsa da halen enkapsülasyon yöntemi ve işlem değişkenlerinin son ürün üzerine olan etkisi incelenmelidir. Artan gıda ürünlerinin karmaşıklığı, araştırmaları yeni ve farklı kapsülleme teknikleri ve süreçlerine yönlendirmeye devam etmekte ve özellikle fonksiyonel gıda tüketiminin artmasıyla beraber bu ürünlerde kullanılan aktif bileşenlerin korunumu üzerine çalışmalar hız kazanmaktadır. Mikrokapsül yapılarının hazırlanmasına yönelik kullanılan yöntemler; fiziksel (sprey kurutma, sprey soğutma, dondurarak kurutma, ekstrüzyon, sıvı boncuk kaplama vs.), kimyasal (moleküler inklüzyon kompleksasyonu ve ara yüzey polimerizasyonu) ve fizikokimyasal (koaservasyon, lipozom tutuklama vb.) olarak sınıflandırılabilir (Koç vd., 2010).

Sprey soğutma, diğer yöntemlere kıyasla benzersiz bir matris serbest bırakma mekanizması ile dengeli farmasötik kapsüllerin üretiminde yıllardır kullanılan alternatif bir teknik olup, suya duyarlı aktif maddeleri kapsüllemek için solventsiz bir enkapsülasyon yöntemidir (Lakkis, 2007). Genel olarak sprey soğutma yöntemlerinde izlenen üç temel ve ortak ilke sırasıyla; kaplanacak olan etken maddenin matris malzemesine dispersiyonu, elde edilen karışımın atomizasyonu ve matris malzemesinin katılaştırılması işlemlerine dayanmaktadır (Garti ve McClements, 2012).

Şekil 1'de görüldüğü üzere sprey soğutma işleminde enkapsülasyon yapısının oluşturulabilmesi amacıyla çekirdek materyali, atomizasyon basamağından önce kaplama

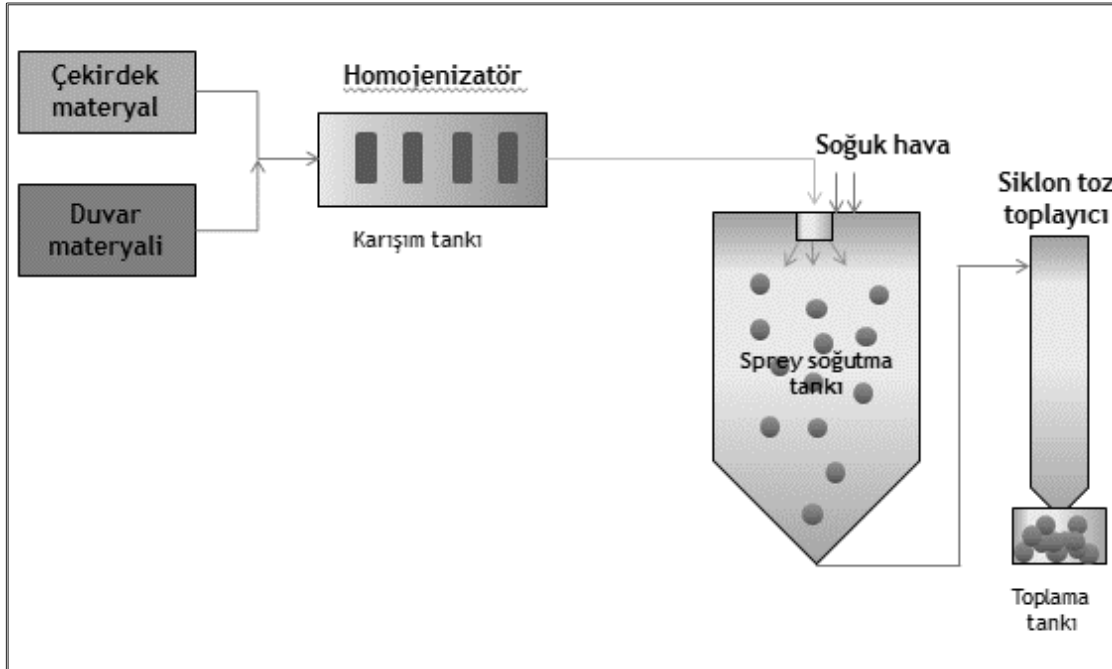
materyali olarak kullanılacak matris malzemesi içerisine dağıtılır; atomizasyon ve soğutma işlemi sonrası matris, bir mikroküre veya çok çekirdekli bir mikrokapsül oluşturmak üzere dağılmış olan aktif bileşen etrafında katılaşır (Garti ve McClements, 2012). Yağlı kaplama olarak da bilinen spray soğutma yöntemi atomizasyon kaynağı, parçacık oluşturma odası ve toplama bölgesini içermesi bakımından birçok yönüyle spray kurutma işlemiyle benzerdir. Fakat kaplama materyalinin çekirdek materyal etrafını sarmalayarak katılaşmasını sağlayan soğutulmuş havaya atomize edilmesi ile spray kurutma yönteminden ayrılmaktadır. Ayrıca spray soğutma yöntemi ile enkapsülasyon işlemi, spray kurutma yöntemindeki gibi suyun buharlaştırılması basamağını içermediğinden dolayı atomizasyon işlemi sonrası oluşan sıvı damlacıkların iç kısmında yer alan çekirdek materyali duvar materyallerinin katılaşması sonucunda hapsedilir (Rokka ve Rantamaki, 2010; Garti ve McClements, 2012).

Spray soğutma yöntemi, diğer uygulamalara nazaran daha küçük partikül boyutlarında başarılı bir şekilde elde edilen mikrokapsül yapılarının, lipit kaplamaya bağlı olarak suda çözünmemesi dolayısıyla; gıda bileşenleri ve nutrasötik uygulamalar için mineral maddeler, probiyotikler, suda çözünen vitaminler, enzimler, asitleştiriciler, aroma bileşenleri, besleyici yağ ve biyoaktif maddelerinin enkapsülasyonunda yaygın olarak tercih edilen basit bir yöntemdir (Rokka ve Rantamaki, 2010; Desai ve Park, 2005; Garti ve

McClements, 2012). Spray soğutma yönteminde materyal içerisindeki suyun giderimi sağlanmadığı için kütle transferi gerçekleşmez. Bu nedenle atomize hale geçen damlacık yapılarının soğuk havayla teması sonrası, kusursuz küresel şekiller halinde katılaşan, serbestçe akan toz parçacıkları elde edilir (Desai ve Park, 2005).

Spray soğutma yöntemi ile enkapsülasyon işleminde sıklıkla tercih edilen kaplama materyalleri genellikle bitkisel yağ ya da türevleridir. Düşük erime noktasına (32-42 °C) sahip parçalanmış veya hidrojene edilmiş bitkisel yağların yanı sıra 45-122 °C erime noktalarına sahip sıkı mono ve diasilgliseroller gibi çok çeşitli kaplama materyalleri spray soğutma yöntemi ile enkapsülasyon işleminde kullanılmaktadır (Desai ve Park, 2005).

Spray soğutma yöntemi ile enkapsülasyon işleminin diğer yöntemlere kıyasla sağladığı avantajlar; yüksek ısı uygulamasının olmaması, düşük işletim maliyeti ve solventsiz çalışılmasıdır. Ayrıca kaplama materyali olarak lipid türevi bileşiklerin kullanımı spray soğutma yöntemi sonucu elde edilen enkapsüle toz ürünlere yüksek nem direnci sağlaması bakımından karşılaştırıldığında; suda çözünür amorf polisakkaritlere dayalı sistemlere kıyasla da avantajlar sağladığı görülmektedir. Fakat bahsedilen avantajların yanı sıra oksijen difüzyonuna karşı kristallerin apolar yapılarının zayıf bir bariyer özelliği göstermesi gibi dezavantajları göz önünde bulundurmak gerekmektedir (Sartori vd., 2015; Matos-Jr vd., 2017).



Şekil 1. Spray soğutma yöntemiyle enkapsülasyon işleminin akış diagramı

Figure 1. Flow diagram of encapsulation with spray cooling method

Dispersiyon Hazırlama

Sprey soğutma yöntemi ile enkapsülasyon işleminin birinci basamağı olan dispersiyon hazırlama aşamasında kaplanacak olan aktif bileşen kaplama materyallerini içeren matris ortamı içerisine disperse edilerek homojen bir dağılım sağlanmaya çalışılmaktadır. Mikroenkapsüle edilme istenen çekirdek malzeme, sıvı veya katı olabileceği gibi matris malzemesi ile karışabilir veya karışmaz bir yapıda olabilir. Atomizasyon işlemi öncesi, kaplama materyali olarak da adlandırılan matris malzemesi ve aktif bileşen içeren bir besleme dispersiyonu hazırlanır (Garti ve McClements, 2012). Hazırlanan besleme dispersiyonunun özellikleri, kaplama malzemesinin türü ve yoğunluğuna ve dispersiyonun besleme sıcaklığına bağlı olarak değişiklik gösterebilir (Sagis, 2015). Aktif madde dediğimiz çekirdek materyalin karışabilir özellikte olması halinde matris materyalinde çözünmesi, karışmaması durumunda ise emülsifikasyonu sağlanırken, emülsiyonlaştırmanın gerekli olduğu durumda yüzey aktif bileşenleri stabil bir emülsiyon oluşturmak için kullanılabilir (Garti ve McClements, 2012).

Matris malzemesi içerisinde çözünmeyen bileşenlerin sprej soğutma yöntemi ile enkapsülasyonunda, son ürünlerdeki enkapsülasyon etkinliği hazırlanan emülsiyonun stabilitesinden etkilenmekte olup, stabilite iyi olduğunda enkapsülasyon etkinliği artmaktadır (Zungur vd., 2013).

Kaplama Materyalleri

Enkapsülasyon işleminin etkinliği kaplama materyallerine büyük oranda bağlıdır. Enkapsülasyon işlemi için kullanılan kaplama materyalleri genel anlamıyla lipofilik ya da hidrofilik olarak da sınıflandırılabilir. Enkapsülasyon işlemleri için işlevsel lipofilik veya hidrofilik yapıların oluşturulabilmesi için çeşitli kaplama materyalleri kullanılabilir (Kwak, 2014).

İdeal bir kaplama materyali:

- Yüksek konsantrasyonda reolojik özellikleri iyi olmalı ve kapsülleme işlemi esnasında kolay işlenebilmelidir.
- Emülsiyon ve dispersiyon özelliğine sahip olmalı ve emülsiyon stabilitesi yüksek olmalıdır.
- Kaplama işlemi esnasında ve/veya depolama sırasında çekirdek materyalin özelliğini bozacak şekilde reaksiyona girmemelidir.
- Çekirdek materyalini kaplayabilmeli ve bunu stabil bir şekilde hem işlem esnasında hem de depolama esnasında koruyabilmelidir.

- İstenilen çözgüde çözünebilmeli ve maliyet açısından uygun olmalıdır (Koç vd., 2010).

Mikroenkapsülasyon işleminde genellikle nişasta, maltodekstrin, pullulan, sakkaroz, maltoz gibi karbonhidratlar; jelatin, peynir altı suyu proteinleri, kazein ve kazeinatlar gibi proteinler ve gam arabik gibi gıamlar kaplama materyali olarak tercih edilmekte olup, probiyotik bakterilerin enkapsülasyonunda yaygın olarak kullanılan kaplama materyalleri yosun orijinli polisakkaritler (karrageenan, aljinat), bitkiler (nişasta ve türevleri, Arap gamı) ve bakterilerden (gellan, ksantan) ve hayvansal proteinlerden (süt, jelatin) elde edilir (Rokka ve Rantamaki, 2010).

Sprej soğutma yöntemiyle enkapsülasyon işleminde ise kaplamanın çekirdek materyali etrafında katılaşması, eriyik haldeki karışımın serin bir hava akımına püskürtülmesi şeklinde gerçekleşir. Kaplama materyalleri eriyik halde sıvı formda iken oda sıcaklığında katılaşabilmelidir. Bu nedenle sprej soğutma yöntemi ile enkapsülasyon işleminde yüksek sıcaklıkta eriyen polimerler, mumlar, hidrojenize yağlar ve yağ asitleri gibi lipid türevleri kullanılmaktadır (Kwak, 2014). Ayrıca düşük sıcaklıklarda jel oluşturma özelliği iyi olan protein ve karbonhidratlar da kaplama materyali olarak tercih edilmektedirler.

Lipitler

Sprej soğutma yöntemi ile enkapsülasyon yönteminde kaplama materyali olarak kullanılan yağlar laurik, palmitik ve oleik-linoleik gruplar gibi üç temel yağ asidi grubunun bir veya daha fazla formülasyonlarından oluşmaktadır. Bu yağ asitlerinin karboksilik asit zincir uzunluklarındaki değişiklikler, erime profilleri, doymunluk derecesi, esterifikasyon derecesi, saflık dereceleri ve bunların kristalimsi yapısı kaplamanın işlenebilirliğinin yanı sıra kapsüllenmiş ürünün performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Lakkis, 2007). Kaplama materyali olarak kullanılacak olan yağların erime noktasının düşmesi ile birlikte sprej soğutma işlemi sonrası elde edilen ürünün kümeleşme eğilimi yüksek, akışkanlığı ise düşüktür.

Oleik / linoleik asit grubu: mısır, pamuk tohumu, yer fıstığı, zeytin, ayçiçeği, aspir gibi ticari öneme sahip bu yağlar farklı sertlik derecelerinde plastik yapıdaki yağlar oluşturmak üzere hidrojene edilebilir. Sprej soğutma yöntemi ile enkapsülasyon uygulamalarında bu yağ asitlerinin sadece yüksek seviyede hidrojenlenmiş versiyonları etkili olmaktadır (Lakkis, 2007). Ribeiro vd. (2012) sprej soğutma yöntemi ile glikoz içeren stearik asit mikropartiküllerini oluşturmak için oleik asit içerikli kaplama materyali kullanmışlardır. Sartori vd. (2015) ise askorbik

asidin oleik asit içerikli kaplama materyalleriyle sprej soğutma işlemi gerçekleştirilerek mikrokapsülasyon verimi ve yapısını incelemişlerdir.

Laurik asit grubu: Bu grubun yağ asitleri doymuş, kısa zincirli yağ asitleri bakımından zengin (8, 10 ve 14 karbon zincir uzunluğu) ve kararlı olup, ortalama % 40-50 oranında laurik asit içerirler. Doymamış fraksiyonların çoğunluğunu oleik ve linoleik asitler oluştururken doymuş olanlar esas olarak palmitik ve stearik asitlerden oluşmaktadır. Laurik asit esaslı yağ asitleri nispeten düşük erime noktalarına (~44°C) sahiptir. Sartori vd. (2015) farklı Laurik asit/Oleik asit oranlarındaki kaplama materyallerinin proses verimi üzerine etkilerini incelemiş; kaplama malzemesi içerisindeki laurik asit miktarının çekirdek materyal salınımını araştırmışlardır.

Palmitik asit grubu: Palm yağı % 32-47 palmitik asit ve % 40-52 oleik asit içermekte olup bu yağ asidi grubu, doymuş ve doymamış yağ asitlerinin eşit konsantrasyonlarına sahiptir. Matos-Jr vd. (2015) hidrojene palm yağı ve bitkisel gliserol monostearat kaplama materyallerini kullanarak, sprej soğutma yöntemi ile askorbik asit içeren mikroparçacıklarının; verim, morfoloji, ortalama boyut ve dağılımı, termal davranışları, kapsülleme verimliliği ve askorbik asit kararlılığı açısından karakterize edilmesi üzerine çalışma yürütmüşlerdir. Ayrıca Matos-Jr vd. (2017) askorbik asidin sprej soğutma yöntemi ile kapsül- lenmesinde kaplama materyali olarak palm ve palm çekirdeği yağı; emülsifiyer olarak soya lesitini ile farklı besleme formları ve karıştırma hızlarında denemeler gerçekleştirmişlerdir.

Mumlar: Doğal ve sentetik mumlar sprej soğutma yöntemi ile enkapsülasyon işleminde yüksek erime sıcaklıklarına sahip olmalarından dolayı kullanılmakta olup, en sık kullanılan mumlar karnauba, kandelilla ve bal mumudur.

Karnauba mumu yüksek erime noktasına (82-86°C) ve özgül ağırlığına sahip olması nedeniyle erime noktası, sertlik, tokluk ve parlaklığı artırmak için diğer mumlarla birlikte gıda sistemlerinde spesifik uygulamalar için kullanılabilir (Lakkis, 2007). Sprej soğutma yöntemi ile enkapsülasyon işleminde kullanılan diğer bir mum çeşidi olan bal mumu 61-65°C erime sıcaklığına sahiptir ve GRAS olarak kabul edilmesi nedeniyle doğrudan kullanıma izin verilmektedir (Lakkis, 2007). Bal mumunun enkapsülasyon işlemlerinde donuk halde kırıl- ganlığının çok kolay olması tek başına kullanımından ziyade farklı kaplama materyalleri ile kombinasyonlarının yapılmasını gerektirmektedir. Sertlik derecesi bakımından balmumu ile karnauba arasında olan candelilla, az

miktarda ester ve serbest yağ asidi içerir. Candelilla da bal mumu gibi GRAS olarak kabul edilir ve bazı gıda kullanımları için izin verilir (Lakkis, 2007).

Proteinler ve Karbonhidratlar

Lezzet bileşenlerinin bağlanmasında oldukça iyi olan proteinler sahip oldukları fonksiyonel özelliklerinden dolayı mikrokapsülasyon işlemi için iyi bir kaplama matery- alleridir. Genellikle mikrokapsülasyon işleminde kaplama materyali olarak jelatin, peynir altı suyu pro- teinleri, kazein ve kazeinatlar tercih edilmektedir (Koç vd., 2010). Peynir altı suyu proteini gibi nano taşıyıcı sistemin geliştirilmesiyle fonksiyonel bileşiklerin biyolojik olarak kullanılabilirlikleri büyük ölçüde artmış, vitamin ve min- erallerin mukozal sistemlere ulaşmasına da imkan sağlamıştır (Kwak, 2014).

Hidrojel yapısını sağlayan jelatin, karagenan, gellan gam, pektin, alginat, agar gibi bazı protein ve karbonhidratlar sprej soğutma işleminde atomize damlacıkların katılmasının sağlanmasında, jelatinasyon sıcaklığına da- yanarak kapsülleme yapılabilmesi için yumuşak sulu bir matris sistemi sunar. Besleme solüsyonu genel olarak su, hidrokolloid, jelleştirme ajanı ve aktif bileşenden oluşmakta olup, ek olarak hacim arttırıcı maddeler, surfaktanlar, antioksidanlar ve plastikleştiriciler şeklinde besleme solüsyonunun iyileştirilmesinde kullanılabilirler (Garti ve McClements, 2012).

Literatürde proteinler ve protein hidrolizatlarının sprej soğutma kullanılarak kapsülendiği çalışmalarda temel amaç, acı tadı maskeleyen ve protein hidrolizatlarının gıdalarda istenmeyen değişikliklere sebep olan yüksek reaktivliğini bastırmak olmuştur. Yajima vd. (1999) güçlü acı aromaya sahip bir antibiyotik olan klaritromisinin sprej soğutma ile mikrokapsülasyonu üzerinde çalışmışlar, araştırmacılar klaritromisinin mikrokapsüle edildikten sonra hem yüksek biyoaktifliğe sahip olduğunu hem de sindirimini ağızda değil, bağırsaklarda gerçekleştirdiğini rapor etmişlerdir.

Dispersiyonun Atomizasyonu

Sprej soğutma yöntemi ile enkapsülasyon işleminde kararlı bir süspansiyon veya emülsiyon hazırlandıktan sonra karışım bir atomizöre pompalanır, uniform ve birbirinden ayrı küçük damlacık yapıları üretilir. Atomizasyon işlemi sprej kurutma yönteminde olduğu gibi çift akışkanlı no- zul, döner atomizör, disk atomizör, basınçlı nozul veya ult- rasonik nozul ile gerçekleştirilir (Garti ve McClements, 2012).

Gıda Endüstrisinde Sprey Soğutma Yöntemi ile Üretilmiş Ürünler

Sprey soğutma yöntemi ile enkapsülasyon işlemi, tat maskeleyeme, kontrollü salınım, sıvının katı bir yapı kazanması, çevresel etkilerden koruma, aktif bileşenlerin ayrılması ve/veya biyoyararlanımda artış gibi nedenlerden dolayı tercih edilmektedir. Tablo 1’de özetlendiği üzere, gıda endüstrisinde aromalar, vitaminler, mineraller, yağlar ve probiyotikler gibi bileşenlerin kaplanmasıyla ilgili soğutma yönteminin kullanıldığı görülmektedir.

Aroma Uygulamaları

Aroma bileşenlerinin çözünürlüğünün farklı olması nedeniyle hem jel hem de eriyik matris sistemleri kullanılarak sprej soğutma yöntemi ile enkapsülasyon işlemi gerçekleştirilebilir. Bir çok aroma karışımının uçucu olmaları nedeniyle sıcaklığının çok yüksek olduğu durumlarda kayıplar daha yüksek olacaktır. Termal kayıpların önemsenmediği bazı aromatik yağlarda eriyik malzemeler kapsülleme matrisi olarak kullanılabilirken, bazı aromatik bileşenlerindeki termal kayıpların önüne geçebilmek için ise jeller kullanılabilir (Garti ve McClements, 2012). Zencefil oleoresin antimikrobiyal ve antioksidan özellikleri ile bilinmesinin yanı sıra aromatik bir bileşen olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Oriani vd. (2016), zencefil oleoresin yüklü, katı lipid parçacıklarının sprej soğutma tekniği ile oluşumu ve karakterizasyonunu inceledikleri çalışmalarında farklı erime sıcaklıklarına sahip palm yağlarını kaplama materyali olarak kullanmışlardır. Erime sıcaklığının yüksek olduğu palm yağının kullanıldığı durumda, daha organize bir kristal yapının oluşması nedeniyle zencefil oleoresinin enkapsülasyonu için daha etkili olduğunu bulmuşlardır.

Nutrasötik Uygulamalar

Antioksidanlar, vitaminler, elzem yağ asitleri, proteinler ve enzimler gibi nutrasötiklerin kapsüllemesi çeşitli kaplama materyalleri kullanılarak, farklı yöntemler ile gerçekleştirilmekte olup, literatür incelemeleri sonucunda bazı nutrasötiklerin sprej soğutma yöntemi ile enkapsüle edilmesi üzerine yapılan/devam eden başarılı çalışmalar bulunmaktadır.

Kwak (2014) C vitamininin işlenmesi ve stabilize edilebilmesi için sprej soğutma yöntemi ile mikroenkapsüllemesini inceleyerek, kaplama materyali olarak kullanılan yağ asitleri karışımındaki oleik asit içeriğinin, kaplama materyali ile çekirdek materyalin arasındaki oran dikkate alınmaksızın, katı lipid mikrokapsüllerinin kapsülleme kapasitesini olumlu yönde etkilediğini gözlemlemişlerdir. Sartori vd. (2015) C vitamini mikroenkapsülasyonu için yapmış oldukları çalışmada farklı oranlarındaki laurik

asit/oleik asit karışımlarını kaplama materyali olarak kullanılarak elde edilen C vitamini mikropartiküllerinin % 89’dan % 98’e değişen toplam enkapsülasyon etkinliğine sahip olduğunu, enkapsülasyon etkinliğinin ise taşıyıcıdaki laurik asit miktarı ile ters orantılı olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca taşıyıcı materyalde bulunan yüksek miktardaki oleik asit içeriğinin, enkapsülasyon etkinliğini yükseltmesinin yanı sıra elde edilen partikül çaplarının büyük olması ve yüksek oranda aglomerasyon gibi dezavantaj oluşturabilecek durumlar gözlenmiş, uygun miktar ve koşullar ile başarılı bir enkapsülasyonun sağlanabildiği rapor edilmiştir. Alvim vd. (2016) sprej soğutma ve sprej kurutma tekniği ile C vitamininin kapsüllemesini inceledikleri bir diğer çalışmada; bisküvi üretimi esnasında kapsüllememiş C vitamini ile elde edilen ürünlerdeki içeriğe kıyasla, kapsüllemiş C vitamini ile elde edilen ürünlerdeki içeriğin (pişirme esnasında) korunması sebebiyle avantajlı olduğu belirtilirken, kapsüllemiş olan bu aktif maddenin (pişirme sırasında) termal bozunumuyla ilişkili olan bisküvi üzerinde koyu renkli lekelerin oluşması engellenmiştir. Schrooyen vd. (2001) de sprej soğutma tekniği ile elde ettikleri stabilitesi artırılmış C vitamini mikrokapsüllerinin ekmek, bisküvi ve bazı tahıllara katkılamada avantajlı olduğunu raporlamışlardır. Matos-Jr vd. (2015) hidrojen palm yağı ve bitkisel gliserol monostearat kaplama materyallerini kullanarak, farklı askorbik asit miktarında sprej soğutma yöntemi ile elde edilen mikroparçacıklarının; verim, morfoloji, ortalama boyut ve dağılımı, kapsülleme verimliliği ve askorbik asit kararlılığı açısından karakterize edilmesi üzerine çalışma yürütmüşlerdir. Sonuçlar lipid türüne bakılmaksızın, partikül büyüklüğünün askorbik asit konsantrasyonu ile ilgili olduğunu ortaya koymuştur. Yani aktif madde konsantrasyonu ne kadar düşük ise parçacık boyutu da o kadar küçüktür. Parçacık boyutunun küçük olması yüzeysel alanını arttıracığından, partikül yüzeyinde aktif malzeme bulma ihtimali de artacaktır. Ayrıca düşük aktif bileşen konsantrasyonunun gözlemlenen kapsülleme verimini de bir o kadar düşürdüğü anlaşılmıştır. Matos-Jr vd. (2017) askorbik asidin sprej soğutma yöntemi ile kapsüllemesinde kaplayıcı materyal olarak palm ve palm çekirdeği yağı; emülsifiyer olarak soya lesitini ile farklı besleme formları ve karıştırma hızlarında deneyler gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada önerilen iki besleme hazırlama yöntemi arasındaki kıyaslamaya sonucunda, her iki yöntemin de avantaj ve dezavantajları olduğunu; C vitamininin stabilitesi ile ilişkili olarak daha umut verici sonuçlar elde edildiği raporlanmıştır. Paucar vd. (2016), sprej soğutma ile D₃ vitamininin enkapsülasyonu üzerine yaptıkları çalışmada taşıyıcı matris olarak bitkisel yağ, soya lesitini ve balmumu kullanılmışlardır. D₃ vita-

mini yüklü partiküllerde (oda sıcaklığında, 65 gün) depolama sonrası ölçümü ile saptanan aktif bileşiğin, immobilize olmayan vitamin grubuna kıyasla korunduğu ve diğer tüm formülasyonlar içerisinde balmumu eklenerek elde edilen formülasyonun D₃ vitamini stabilitesini geliştirdiği görülmüştür. Zoet vd. (2011), D vitamininin kapsülasyonu üzerine yaptıkları çalışmada taşıyıcı matris olarak hidrojene palm yağı, pamuk yağı, susam yağı, carnauba mumu ve balmumu kullanmışlardır. Erime noktası 45-90 °C ara-

lığında değişebilen taşıyıcı matrislerin, mikrokapsül kalitesini etkilediği ve elde edilen D vitamini mikrokapsüllerinin gıda veya yem katkısı olarak kullanılabileceği bildirilmiştir. Sprey soğutma tekniği ile E vitaminini (α -tokoferol) kapsülleyen Gamboa vd. (2011) hidrojene soya yağı ve normal soya yağını kaplama materyali olarak kullanmışlardır. Çalışma sonunda E vitamininin mikrokapsülasyonunun %90'lara varan oranlarda verime sahip olduğu ve E vitamini kapsüllerin depolama süresince (180 gün) iyi bir stabilite de seyrettiği rapor edilmiştir.

Tablo 1. Sprey Soğutma Yöntemi ile enkapsüle edilmiş gıda uygulamaları

Table 1. Encapsulated food applications with spray cooling method

Çekirdek Materyal	Kaplama Materyali	Enkapsülasyon İşlem Koşulları	Kaynak	
Zencefil Oleoresin	Palmitik Asit (Erime noktası: 63°C) Oleik asit (Erime noktası 8.2 ±0.1°C) Palm yağı (Erime noktası: 44.9 ±0.2°C)	Emülsiyon hazırlama/ homojenizasyon: Kaplama materyalleri 80°C'ye ısıtılır. Atomizasyon: 0.7 kg/st besleme hızı 7 °C hava giriş sıcaklığı 1052 L /s atomize hava hızı 35.000 L/s soğutma havası akış hızı	Oriani vd. (2016)	
Gallik Asit	Hidrojene Soya Yağı / Soya Yağı (Erime noktaları:71,30 -74,99°C) PGPR (Poligliserol polirisinoleat)	Emülsiyon hazırlama/homojenizasyon: Kaplama materyalleri 80°C'ye ısıtılır. Atomizasyon: 0.530 L /s besleme akış hızı 35,000 L /s soğutma havası akış hızı 667 L/s atomize edici hava akış hızı Giriş ve çıkış soğutma havası sıcaklıkları: 7 ve 11 °C	Consoli vd. (2016)	
A vitamini, İyot, Demir	%1 Soya Lesitini Hidrojenize Palm Yağı (Erime noktası:63°C)	Emülsiyon hazırlama/homojenizasyon: Kaplama materyalleri 80-90°C'ye ısıtılır. Atomizasyon: Soğutma sıvısı olarak nitrojen kullanılmıştır.	Wegmuller vd. (2006)	
Askorbik Asit	Laurik Asit/ Oleik Asit (Erime noktaları 41.6-48.4°C) PGPR 90 (Poligliserol polirisinoleat)	Emülsiyon hazırlama/homojenizasyon: 30000 rpm'de 5 dakika 5.28.10 ⁴ m ³ /st besleme akış hızı 0.66 m ³ /s atomize edici hava hızı 35 m ³ /s soğutma havası akış hızı Giriş ve çıkış soğutma havası sıcaklıkları:6 ve 9.5°C	Sartori vd. (2015)	
C vitamini	Sprey soğutucu için: Stearik Asit (Erime noktası: 55°C) Hidrojene bitkisel yağ (Erime noktası: 41°C) Sprey kurutucu için: Gam arabik	Sprey Kurutucu Örnek sıcaklığı: 40 ±2 Giriş sıcaklığı 150 ±2 Çıkış sıcaklığı 75 ±3 Besleme hızı 8mL/dak	Sprey Soğutucu Örnek sıcaklığı:70 ±2 Giriş sıcaklığı 5 ±3 Çıkış sıcaklığı 15 ±2 Besleme hızı 12 mL/dak	Alvim vd. (2016)
C vitamini	Hidrojene palm yağı (Erime noktası: 74.02°C) Bitkisel gliserol monostearat (Erime noktası: 89.51°C)	Emülsiyon hazırlama/homojenizasyon: Taşıyıcı matrisi oluşturan yağlar erime noktalarının 10°C üzerinde ısıtılır. Askorbik asit öğütülür (100µm'den küçük) Atomizasyon: 4 bar hava basıncı 22 ± 3°C soğutma odası sıcaklığı	Matos-Jr vd. (2015)	
C vitamini	Palm ve palm çekirdeği yağı (Erime noktası: 43°C) Soya lesitini	Emülsiyon hazırlama/homojenizasyon: Taşıyıcı matrisi oluşturan yağlar erime noktalarının 15°C üzerinde ısıtılır. 523 rad/s homojenizasyon Atomizasyon: Besleme akışı 50 mL/dak 13 ±2 soğutma odası sıcaklığı 216 kPa atomizör basıncı	Matos-Jr vd. (2017)	

D₃ vitamini	Bitkisel yağ (Erime noktası: 49°C) Soya lesitini Bal mumu	Emülsiyon hazırlama/homojenizasyon: Taşıyıcı matrisi oluşturan yağlar 80°C'ye ısıtılır. 5000 rpm'de 1 dakika Atomizasyon: 50 mL/dak besleme akış hızı 2.2 kgf/cm ² hava basıncı 13 ±1°C soğutma havası giriş sıcaklığı	Paucar vd. (2016)
E vitamini	Hidrojene soya yağı / hidrojene palm yağı (Erime noktası: 61°C)	Emülsiyon/Homojenizasyon: 5 dakika boyunca homojenizasyon	Gamboa vd. (2011)
% 10 likopen içeren ayçiçeği yağı	Hidrojene ve interesterifiye pamuk tohumu, soya ve palmye yağlarından oluşan shortening (Erime noktası: 51°C)	Homojenizasyon/Besleme öncesi: Likopen daha önce 60 °C'de eritilen shortening Atomizasyon: 1kgf / cm ² hava basıncı 40 mL/dak besleme akışı 13°C soğutma odası	Pelissari vd. (2016)
<i>Lactobacillus acidophilus (LA), Bifidobacterium animalis subsp. lactis(BL)</i>	Bitkisel yağ (Erime noktası:51°C)	Homojenizasyon: 7000 rpm'de 60 s Besleme öncesi: Dispersiyon 51°C su banyosunda manyetik karıştırıcı ile karıştırılır. Atomizasyon: 15 ±2°C soğutulmuş oda 5 bar hava basıncı	Bambi vd. (2016)
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	Palm ve Palm çekirdeği yağı (Erime noktası: 43.34°C) Prebiyotikler İnulin ve polidekstroz	Homojenizasyon: 7000 rpm'de 60 s Atomizasyon: 15 ± 2°C soğutulmuş oda sıcaklığı 5 bar hava basıncı	Okuro vd. (2013)
Fitosterol	Stearik asit Hidrojenlenmiş bitkisel yağ (Karışım erime noktaları: 44.5-53.4°C)	Emülsiyon hazırlama/ homojenizasyon: Kaplama materyalleri 70°C'ye ısıtılır. Atomizasyon: Hava akış hızı 500-600 NL / st Giriş sıcaklığı 5 ± 2 °C	Alvim vd. (2013)
Glikoz çözeltisi	Stearik asit Oleik asit Yağ karışımlarının erime noktaları: 49.6-56.6°C Lesitin	Emülsiyon hazırlama/ homojenizasyon: Kaplama materyalleri 70°C'ye ısıtılır. 10000 rpm'de 5 dak Atomizasyon: 1.25 kgf / cm ² hava basıncı 0°C' soğutulmuş oda sıcaklığı Her bir lipid karışımı oranları için tanka eklemek için ideal sıcaklık ve atomizer sıcaklığı 60-65°C arasında değişir.	Ribeiro vd. (2012)
Soya Proteini Hidrolizatı	Hidrojene pamuk tohumu yağı (Erime noktası: 51°C) Poligliserol poliasinoleat (PGPR, %1) Tween 80 (%1) Soya lesitini (%2, %5, %7)	Emülsiyon hazırlama/homojenizasyon: Yağ karışımları 3600 rpm'de 30 s Soya Proteini Hidrolizatı:yağ (1:10 , 1:5) 6000, 8000 ve 10,000 rpm 1, 5 ve 7 dak. Atomizasyon: 45 mL/dk besleme akışı 15 ±2°C'de soğutulmuş odaya 2.2 kgf/cm ² basınç	Salvim vd. (2015)

İyot, demir ve A vitamininin stabilitesini artırmak için kararlı bir tuz geliştirmek amacıyla Wegmuller vd. (2006) yaptıkları çalışmada hidrojene palm yağını taşıyıcı olarak kullanmışlar ve sprey soğutma ile potasyum iyodat, ferrik pirofosfat ve retinil palmitatı mikroenkapsüle etmişlerdir. Sprey soğutma ile elde edilen mikrokapsüllerin boyut ve morfolojisi ile iyot ve A vitamini kaybı incelenmiştir. Çalışmada elde edilen mikrokapsüller yerel bir tuz içerisine eklenip; 6 ay süre ile depolanmıştır. Depolama süresince tuzda meydana gelen renk değişiminin kabul edilebilir düzeyde ve retinil palmitatın stabilitesinin yüksek olduğu bulgulanmıştır. Ayrıca mikrokapsül içeren ve mikrokapsül içermeyen tuz ile gerçekleştirilen duyu analizi sonuçları arasında fark bulgulanmamıştır. Sonuçlar sprey soğutma ile mikrokapsüle edilmiş tuzlarla katkılamının iyot, demir ve A vitamini depolama stabilitesini artırdığını göstermiştir.

Consoli vd. (2016) hidrojene soya yağı ve normal soya yağı karışımını, taşıyıcı matris olarak kullanarak sprey soğutma tekniği ile gallik asidi kapsüllemişler ve yağ karışımlarını oluşturan bileşimlerinin parçacık boyutunu etkilediği, yüksek konsantrasyonlardaki hidrojene soya yağına sahip formülasyonlardan elde edilen parçacıkların, boyutlarında azalmanın gözlemlendiğini bildirmişlerdir. Çalışma sonunda kaplama materyali içerisinde bulunan yüksek konsantrasyonlardaki hidrojene soya yağının kapsülleme verimliliğini artırdığı, en iyi formülasyonlarda ise Gallik asit mikrokapsülasyonunun %80 ve üzeri oranlarda verime sahip olduğu rapor edilmiştir. Yağ asitleri ile yapılmış bir çalışmada ise sprey soğutma teknolojisi ile elde edilen stearik asit mikropartiküllerine üretim esnasında oleik asit eklemesinin etkisi incelenmiştir. Oleik asit eklemesinin lipit kristali oluşumunu olumlu yönde etkilediği, sprey soğutmada yüksek verim elde edildiği, yağ taşıyıcı fazı ile enkapsülasyon uygulamasının oldukça avantajlı bir uygulama olduğunu bildirilmiştir (Ribeiro vd., 2012). Alvim vd. (2013) stearik asit ve hidrojene bitkisel yağ karışımlarının kaplama materyali olarak kullanıldığı çalışmalarında fitosterolü kapsülleyerek, fitosterol gibi hidrofobik bileşiklerin sprey soğutma yöntemi ile enkapsülasyon verimi ve aglemerasyon bakımından başarılı bir kaplama gerçekleştirilebileceğini bildirmişlerdir.

Soya protein hidrolizatının sprey soğutma ile mikronekapsülasyonu amacıyla yapılan bir çalışmada, yapılan bu işlemin soya protein hidrolizatının istenmeyen tadını maskelediği, daha dayanıklı bir forma getirildiği ve yağ sindirimi sırasında bağırsakta salınımını geliştirdiği bulgulanmıştır (Salvim vd., 2015).

Pelissari vd. (2016) likopenin kapsüllemesi üzerine yapmış oldukları çalışmada çeşitli kaplama materyalleri ile parçacıkların yapısal özellikleri ve likopen kararlılığını incelemişler; likopenin korunması için en iyi koşulların taşıyıcı olarak gam arabik kullanıldığı, sıcaklığın ve vakumun düşük olduğu yerlerde depolanması gerektiği rapor edilmiştir. Ayrıca buna ek olarak, taşıyıcı kompozisyona gam arabik ve karboksimetil selüloz ilavesinin parçacıkların morfolojisini etkilemediği gözlenmiştir.

Probiyotik Uygulamaları

Probiyotikler dahil çeşitli bakteri kültürlerinin enkapsülasyonu, genel enkapsülasyon faydalarının yanı sıra; gıda üretim proseslerinde, depolamada ve gastrointestinal sistemden geçerken canlılıklarının korunması bakımından avantaj sağlamakta olup, çeşitli tekniklerin yanı sıra sprey soğutma yöntemi ile de gerçekleştirilebilmektedir (Ünal ve Erginkaya, 2010).

Bir probiyotik olan *Lactobacillus acidophilus*'un, sprey soğutma teknolojisini kullanılarak; palm-palm çekirdeği yağı ile kapsüllemesi ve bu kapsüllerin değerlendirmesini yapan Okuro vd. (2013), sprey soğutma işleminin canlılığı azaltmadığını ve mikrokapsüle edilmiş probiyotiklerin enkapsüle edilmeyen probiyotiklere kıyasla daha stabil olduğunu; ayrıca katı lipid mikropartiküllerinin *Lactobacillus acidophilus* hücrelerini mide ve bağırsak sıvılarının etkilerinden koruyabildiğini bulgulanmışlardır. Probiyotiklerle yapılan bir diğer çalışmada *Bifidobacterium lactis* ve *Lactobacillus acidophilus*' un mikrokapsülasyon ile korunmasını amaçlayan de Lara Pedroso vd. (2012), sprey soğutma yöntemi ile enkapsüle edilmiş olan toz ürünlerin, simüle edilmiş barsak ve mide sıvılarından stabilite ve 90 günlük depolama süreleri boyunca stabiliteyi incelemişlerdir. Sonuç olarak palm ve palm çekirdeği yağını kullanarak elde edilen probiyotikli mikrokapsüllerin mide ve bağırsak sıvılarından geçmesine karşı etkili olduğu ve düşük sıcaklıklarda depolanabildiği gözlenmiş olup, sprey soğutma yönteminin oldukça avantajlı ve kullanılabilir bir yöntem olduğu rapor edilmiştir. Bampi vd. (2016) *Lactobacillus acidophilus* ve *Bifidobacterium animalis subsp. lactis*'in sprey soğutma tekniği kullanarak mikrokapsülasyonu sonrası canlılıklarını değerlendirmişler ve bunları tuzlu tahıl barlarına eklemişlerdir. 120 günlük depolama süresi boyunca barlardaki canlı hücre sayısı, tuzlu tahıl barlarına aktive edilmiş ve liyofilize edilmiş probiyotikler eklemek için kullanılan diğer yöntemlere kıyasla mikrokapsüllemiş yapıların canlılıklarının fazla olmasından dolayı avantaj sağladığı raporlanmıştır.

Sprey soğutma yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen enkapsülasyon çalışmalarından görüldüğü üzere aktif madenin tipine bağlı olarak kullanılacak olan kaplama materyal(ler)inin tipi ve/veya oranı değişim göstermektedir. Ayrıca çalışmalarda araştırmacılar tek bir kaplama materyali kullanmak yerine iki veya daha fazla farklı kaplama materyalinin bir arada kullanmışlardır. Sprey soğutma yöntemi ile enkapsülasyon işleminde kaplama materyal(ler)inin tipi veya oranının önemli olduğu kadar dispersiyon hazırlama aşamasında uygulanan homejenizasyon hızının ve katılaştırma çemberinin sıcaklığı da oldukça önemlidir.

Sonuç

Sprey soğutma yöntemi ile sıvı/yarı sıvı ya da akışkan hale getirilebilecek hassas gıda bileşenleri dispersiyon haline getirilir ve atomizör sistemi aracılığıyla küçük damlacık boyutuna küçültülerek enkapsüle edilir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde kaplama materyali olarak kullanılan mumlar, hidrojenize yağlar, lipit türevleri, jel oluşturma özelliği iyi olan protein ve karbonhidratların tek başına kullanılabilirdiği gibi, farklı kombinasyonlarda kullanılmaları durumunda beklenen stabilite ve etkinliği geliştirerek başarılı bir enkapsülasyon sağladıkları bilgisine ulaşılabilmektedir. Ayrıca kaplanmak istenen çekirdek materyalinin istenmeyen tat, koku ve aktivitesinin maskelenmesi gibi faydaları yanı sıra düşük sıcaklıklarda gerçekleşmesi bakımından çoğu enkapsülasyon yönteminden daha fazla avantaj sağlamakta olan sprej soğutma yöntemi; diğer enkapsülasyon yöntemlerine kıyasla düşük işleme maliyetli ve kolay ölçeklendirilebilir yapısıyla öne çıkmakta olup, gelecek vadeden bir yöntem olduğu söylenebilir. Fakat elde edilen son ürünün depolama ve kullanım süresince kapsül yapısının kırılıp-bozulması ile kontrolsüz salınımının gerçekleşmesi hedeflenenin aksine bir dezavantaja sebep olacağı ihtimalini de göz önünde bulundurmak gerektirdiğinden; kullanılacak kaplama materyali ya da materyallerinin elde edilen verilere dikkate alınarak seçiminin yapılması ve son ürün için uygun depolama koşullarının belirlenmesi gerekmektedir.

Kaynaklar

Alvim, I.D., Souza, F.D.S.D., Koury, I.P., Jurt, T., Dantas, F.B.H. (2013). Use of the spray chilling method to deliver hydrophobic components: physical characterization of microparticles. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*, 33(1), 34-39.

Alvim, I.D., Stein, M.A., Koury, I.P., Balardin, F., Dantas, H., Cruz, C.V. (2016). Comparison between the spray

drying and spray chilling microparticles contain ascorbic acid in a baked product application. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 689-694.

Bampi, G.B., Backes, G.T., Cansian, R.L., Matos-Jr, F.E., Ansolin, I.M.A., Poletto, B.C., Corezzolla, L.R., Favaro-Trindade, C.S. (2016). Spray chilling microencapsulation of *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium animalis subsp. lactis* and its use in the preparation of savory probiotic cereal bars. *Food and Bioprocess Technology*, 9, 1422-1428.

Can Karaca, A., Low, N., Nickerson, M. (2013). Encapsulation of flaxseed oil using a benchtop spray dryer for legume protein-maltodextrin microcapsule preparation. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61(21), 5148-5155.

Consoli, L., Grimaldi, R., Sartori, T., Menegalli, F.C., Hubinger, M.D. (2016). Gallic acid microparticles produced by spray chilling technique: Production and characterization. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 79-87.

de Lara Pedroso, D., Thomazini, M., Heinemann, R.J.B., Favaro-Trindade, C.S. (2012). Protection of *Bifidobacterium lactis* and *Lactobacillus acidophilus* by microencapsulation using spray-chilling. *International Dairy Journal*, 26(2), 127-132.

Desai, K.G.H., Park H.J. (2005). Recent Developments in Microencapsulation of Food Ingredients. *Drying Technology*, 23, 1361-1394.

Gamboa, O.D., Gonçalves, L.G., Grosso, F.C. (2011). Microencapsulation of tocopherols in lipid matrix by spray chilling method. *Procedia Food Science*, 1, 1732-1739.

Garti, N., McClements, J.D. (2012), *Encapsulation technologies and delivery systems for food ingredients and nutraceuticals*. Woodhead Publishing, p. 110-130, ISBN 9780857091246

Koç, M., Sakin, M., Ertekin, F. (2010). Mikroenkapsülasyon ve gıda teknolojisinde kullanımı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16, 77-86.

Kwak, H.S. (Ed.). (2014). *Nano-and microencapsulation for foods*. John Wiley & Sons, p. 1-42, 223-248, ISBN 9781118292334

- Lakkis, J.M. (2016). *Encapsulation and controlled release technologies in food systems*. John Wiley & Sons, p.116-177, ISBN 9781118733523
- Matos-Jr, F.E., Comunian, T.A., Thomazini, M., Favaro-Trindade, C.S. (2017). Effect of feed preparation on the properties and stability of ascorbic acid microparticles produced by spray chilling. *LWT-Food Science and Technology*, 75, 251-260.
- Matos-Jr, F.E., Di Sabatino, M., Passerini, N., Favaro-Trindade, C.S., Albertini, B. (2015). Development and characterization of solid lipid microparticles loaded with ascorbic acid and produced by spray congealing. *Food Research International*, 67, 52-59.
- Okuro, P.K., Thomazini, M., Balieiro, J.C., Liberal, R.D., Favaro-Trindade, C.S. (2013). Co-encapsulation of *Lactobacillus acidophilus* with inulin or polydextrose in solid lipid microparticles provides protection and improves stability. *Food Research International*, 53(1), 96-103.
- Oriani, V.B., Alvim, I.D., Consoli, L., Molina, G., Pastore, G.M., Hubinger, M.D. (2016). Solid lipid microparticles produced by spray chilling technique to deliver ginger oleoresin: Structure and compound retention. *Food Research International*, 80, 41-49.
- Paucar, O.C., Tulini, F.L., Thomazini, M., Balieiro, J.C.C., Pallone, E.M.J.A., Favaro-Trindade, C.S. (2016). Production by spray chilling and characterization of solid lipid microparticles loaded with vitamin D 3. *Food and Bioproducts Processing*, 100, 344-350.
- Pelissari, J.R., Souza, V.B., Pigoso, A.A., Tulini, F.L., Thomazini, M., Rodrigues, C.E. C., Urbano, A., Favaro-Trindade, C.S. (2016). Production of solid lipid microparticles loaded with lycopene by spray chilling: Structural characteristics of particles and lycopene stability. *Food and Bioproducts Processing*, 98, 86-94.
- Ribeiro, M.M.M., Arellano, D.B., Grosso, C.R.F. (2012). The effect of adding oleic acid in the production of stearic acid lipid microparticles with a hydrophilic core by a spray-cooling process. *Food Research International*, 47(1), 38-44.
- Rokka, S., Rantamäki, P. (2010). Protecting probiotic bacteria by microencapsulation: challenges for industrial applications. *European Food Research and Technology*, 231(1), 1-12.
- Sagis, L.M. (2015). Microencapsulation and microspheres for food applications. Academic Press, p.235-248, ISBN 9780128003503
- Salvim, M.O., Thomazini, M., Pelaquim, F.P., Urbano, A., Moraes, I.C., Favaro-Trindade, C.S. (2015). Production and structural characterization of solid lipid microparticles loaded with soybean protein hydrolysate. *Food research international*, 76, 689-696.
- Sartori, T., Consoli, L., Dupas Hubinger, M., Cecilia Mengelli, F. (2015). Ascorbic acid microencapsulation by spray chilling: Production and characterization. *LWT-Food Science and Technology*, 63, 353-360.
- Schrooyen, P.M.M., van der Meer, R., de Kruif, C.G. (2001). Microencapsulation: its application in nutrition. *Proceedings of the Nutrition Society*, 60, 475-479.
- Ünal, E., Erginkaya, Z. (2010). Probiyotik mikroorganizmaların mikroenkapsülasyonu. *Gıda Dergisi*, 35(4), 297-304.
- Wegmüller, R., Zimmermann, M. B., Bühr, V. G., Windhab, E. J., Hurrell, R. F. (2006). Development, stability, and sensory testing of microcapsules containing iron, iodine, and vitamin A for use in food fortification. *Journal of food science*, 71(2), 181-187.
- Yajima, T., Umeki, N., Itai, S. (1999). Optimum spray congealing conditions for masking the bitter taste of clarithromycin in wax matrix. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 47, 220-225.
- Zoet, F. D., Grandia, J., Sibeijn, M. (2011). Encapsulated fat soluble vitamin, NL Patent, 050668
- Zungur, A. (2013). Mikroenkapsülasyon işleminin ekstra sızma zeytinyağı tozunun depolanması sırasında oksidatif stabilite, sorpsiyon ve fiziksel kalite kriterleri üzerine etkisi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Zungur, A., Güngör, Ö., Koç, M., Kaymak Ertekin, F. (2013). Emülsiyonların özellikleri ve emülsifikasyon koşullarının aroma ve yağların mikroenkapsülasyonu üzerine etkisi. *Akademik Gıda*, 11, 116-124.