

PAPER DETAILS

TITLE: Mikroenkapsülasyon ve Süt Teknolojisinde Kullanım Alanları

AUTHORS: Hande PEKER, Seher ARSLAN

PAGES: 70-80

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1189301>

Mikroenkapsülasyon ve Süt Teknolojisinde Kullanım Alanları

Hande Peker, Seher Arslan

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Kınıklı, Denizli

Geliş Tarihi (Received): 16.06.2011, Kabul Tarihi (Accepted): 18.11.2011

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): peker.hande@hotmail.com (H. Peker)

☎ 0 258 296 31 27 📠 0 258 296 32 62

ÖZET

Mikroenkapsülasyon, katı, sıvı veya gaz halindeki gıda bileşenlerinin, enzimlerin, hücre ve diğer maddelerin, protein veya karbohidrat esaslı minyatür kapsüller içerisinde tutulması olarak tanımlanmaktadır. Yöntemin temel amacı gıda bileşenlerini, kötü çevre koşullarından korumak, stabilitesini sağlamak ve kontrollü olarak kullanımını gerçekleştirmektir. Mikroenkapsülasyon işlemindeki ilk basamak, uygun kaplama maddesinin seçilmesidir. Kaplama maddeleri karbohidratlar, gımlar, proteinler, doğal ve modifiye polisakkaritler, yağlar veya sentetik polimerlerdir. Mikroenkapsülasyon uygulaması, gıda, tarım, ilaç, kozmetik, enerji ve savunma gibi alanlarda kullanılmaktadır. Gıda ürünleri içerisinde çoğunlukla katı ve sıvı yağlar, aroma bileşenleri, vitaminler, mineraller, renk bileşenleri ve enzimler mikroenkapsüle edilmektedir. Bu derlemede, mikroenkapsülasyon tekniği, uygulama yöntemleri ve süt teknolojisinde kullanımı hakkında bilgi sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Mikroenkapsülasyon, Kaplama materyali, Mikroenkapsülasyon yöntemleri, Süt teknolojisi

Microencapsulation and its Applications in Dairy Technology

ABSTRACT

Microencapsulation is defined as solid, liquid or gaseous food ingredients, enzymes, cells and other substances, protein or carbohydrate-based capsules in a miniature eclipse. The main purpose of the method is to protect food constituents from poor environmental conditions and to ensure their stability during processing, handling and storage. The first step of microencapsulation process is the selection of appropriate coating materials. Coating materials can be carbohydrates, gums, proteins, natural and modified polysaccharides, synthetic polymers or oils. Microencapsulation application is used in many fields such as on foods, agricultural products, pharmaceuticals, cosmetics, and energy and defense applications. In food products, mostly fats and oils, flavor compounds, vitamins, minerals, color components and enzymes are microencapsulated. This paper reviews microencapsulation techniques and its application in dairy technology.

Key Words: Microencapsulation, Coating material, Microencapsulation methods, Dairy technology

GİRİŞ

Mikroenkapsülasyon, ilaç ve gıda endüstrisi gibi spesifik alanlarda uygulanmakta olan hızla gelişen bir teknolojidir. Gıda endüstrisinde ise 60 yılı aşkın bir süredir kullanılmaktadır [1, 2]. Mikroenkapsülasyon; ince film tabakaları ya da, polimer kapsüller yardımı ile küçük katı partiküllerin sıvı ya da gaz damlacıklarının

tutuklanmasına dayanan fiziksel bir tutuklanma yöntemi olarak tanımlanmaktadır. Geniş anlamıyla; bir maddenin çok küçük partiküller halinde üniform bir filmle kaplanmasına verilen addır. Bu teknikte kullanılan ve mikrokapsül olarak isimlendirilen minyatür paketlerin genişlikleri mikron büyüklüğünden birkaç milimetreye kadar değişiklik gösterebilmektedir. Söz konusu teknikte, enkapsülasyonu oluşturan aktif kısmın, çekirdek, iç

faz ve dolgu olarak; enkapsülasyon materyalinin ise, kabuk kaplama maddesi ya da duvar materyali olarak isimlendirildiği ifade edilmektedir. Duvar materyali olarak da; jelatin, nişasta, modifiye nişasta, selüloz, dekstrin ya da jelleşme özelliği göstermeyen bir hidrokolloid kullanılmaktadır [1, 3].

Esas olarak mikroenkapsülasyon tekniği, doğal ingredientlere yararlı spesifik özellikler kazandırabilmekte ve gıda endüstrisinde çok farklı amaçlar için kullanılabilmektedir. Bu amaçlar;

- Kaplanacak maddenin dış etkenlere karşı korunması (nem, sıcaklık, hava ve ışık gibi), depolama sırasında tat ve koku maddeleri kayıplarını önlemek, fiziksel özelliklerin daha iyi korunması,
- Maddenin kaplanmasıyla taşınmasının kolaylaştırılması, doğru yerde ve doğru zamanda çalışmasının sağlanması,
- Küçük miktarlarda kullanımı durumunda seyreltilmesi ve seyreltmenin homojen bir halde sağlanması,
- Kaplanacak maddeler arasında meydana gelebilecek arzu edilmeyen etkileşimleri ve görülebilecek oksidatif bozulmaların önüne geçebilmek,
- Aroma maddelerinin ortama kontrollü salınımını sağlamak ve bu salınım hızını kontrol edebilmek,
- Probiyotik mikroorganizmaların çevresinde fiziksel bir bariyer oluşturarak olumsuz çevre koşullarına karşı mikroorganizmaların canlılığını korumak,
- Ayrıca bununla birlikte beslenme ile ilgili olan kayıpların önlenmesini sağlamak olarak ifade edilmektedir [1].

Mikroenkapsülasyon tekniğinin kullanıldığı gıda ürünleri gün geçtikçe fazlalaşmakta olup yoğun olarak; yoğurt, peynir, dondurma, mayonez, balık yağı, şekerleme ürünleri gibi ürünlerde genellikle, sıvı damlacıkların, katı partiküllerin veya gaz bileşenlerin gıda saflığında kaplama materyalleri ile kaplanması için kullanılmaktadır. Gıda ürünleri içerisinde çoğunlukla katı ve sıvı yağlar, aroma bileşenleri, vitaminler, mineraller, renk bileşenleri ve enzimler mikroenkapsülenmiştir [4].

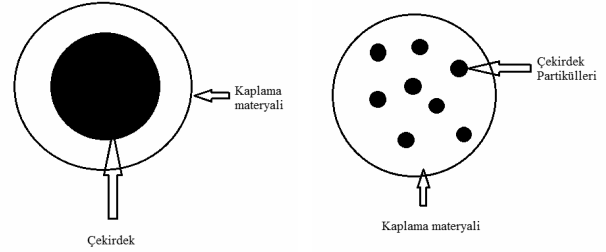
Örneğin, balık yağının oksidasyona karşı duyarlılığı sebebiyle ışık ve oksijene karşı korunması gerekmektedir. Balık yağının oksidasyonunu önlemek için mikroenkapsülasyon bu amaçla kullanılabilecek bir yöntemdir [5,6]. Burada kaplama materyali olarak nişasta, modifiye nişasta, selüloz gibi maddeler kullanılmaktadır. Mikrokapsüller haline getirilerek oksijen, nem ve ışıktan korunan balık yağlarında istenmeyen balık kokusu ve tadı önlenmekte; aynı zamanda çoklu doymamış yağ asitlerinin oksidasyonu da engellenebilmektedir. Emülsifiye edilmiş balık yağının koruyucu bir filmle kaplanıp kuru bir toz haline getirilmesi ile yapılabilen bu işlemde püskürterek kurutma, akışkan yatak prosesi, dondurarak kurutma, ekstrüzyon enkapsülasyonu gibi metotlar

kullanılabilmektedir. Bu ürünlerin düşük nem içeren ortamda depolanması gerekmektedir [5].

Bu derlemede, gıda maddelerinin mikroenkapsülasyonunda kullanılan kaplama materyalleri; uygulanan püskürterek kurutma, dondurarak kurutma, hava süspansiyon kaplama, ekstrüzyon, santrifüj ile suyun uzaklaştırılması, döner süspansiyon separasyon, koaservasyon, kompleks oluşturma, kokristalizasyon, lipozom dağıtma gibi mikroenkapsülasyon teknikleri ile süt teknolojisinde bu yöntemin kullanım alanları ve avantajları hakkında bilgi sunulmaktadır.

MİKROKAPSÜLLERİN YAPISI ve KAPLAMA MATERYALLERİ

Mikrokapsüllerin morfolojisi incelendiği zaman, basit kürelerin yani düzensiz şekilli çekirdeklerin, çok katmanlı bir kabuk ile çevrildiği görülmektedir. Genel olarak mikrokapsül morfolojisi iç faz (çekirdek) ve duvar materyali (matris) olmak üzere iki kategoriye ayrılır (Şekil 1).



Şekil 1. Mikrokapsüllerde iç faz ve kaplama materyali [2]

Kaplama materyalinin kompozisyonu son ürünün fonksiyonel özelliklerine doğrudan etki etmektedir. İdeal bir kaplama materyali aşağıdaki özellikleri taşımalıdır [4]:

- Yüksek konsantrasyonda reolojik özellikleri iyi olmalı ve kapsülleme işlemi esnasında kolay işlenebilmelidir.
- Emülsiyon ve dispersiyon özelliği olmalıdır ve ayrıca emülsiyon stabilitesi yüksek olmalıdır.
- Çekirdek materyali ile kaplama işlemi esnasında ve depolama sırasında çekirdek materyalinin özelliğini bozacak şekilde reaksiyona girmemelidir.
- Çekirdek materyalinin kaplayabilmeli ve bunu stabil bir şekilde hem işlem esnasında hem de depolama esnasında korumalıdır.
- İstenilen çözücüde çözünmelidir.
- Ucuz olmalıdır.

Yukarıda belirtilen özellikleri tek bir kaplama materyalinin sağlaması çok zordur. Bu sebeple farklı kaplama materyallerinin bir arada kullanılması önerilir [4]. Mikroenkapsülasyon teknolojisinde kullanılan kaplama materyalleri Tablo 1’de belirtilmiştir [1].

Mikroenkapsülasyon işleminde genellikle nişasta, maltodekstrin ve mısır şurubu tozu gibi karbohidratlar tercih edilmektedir. Yüksek konsantrasyonlarda bile düşük viskoziteye sahip olmaları, çözünürlüklerinin iyi olması dolayısı ile bunlar iyi kaplama materyalleridir. Ayrıca ucuz olmaları ve gıdalarda yaygın bir şekilde kullanılmalarından ötürü de kaplama materyali olarak tercih edilirler. Fakat emülsifiye edici özelliklerinin olmaması veya düşük olması sebebiyle mikroenkapsülasyon işleminde tek başına

kullanılmalarından ziyade proteinlerle birlikte kullanımları daha yaygındır [5]. Yapılan bir çalışmada %0.6 aljinat, 0.3 M CaCl₂ nişasta ile karıştırılarak 5 mm kalınlığında kaplama materyali oluşturularak *Lactobacillus acidophilus* mikroenkapsüle edilmiştir. Bu çalışmada aljinat-nişasta sıvı kompleksi ile *Lb. acidophilus* bakterisinin fermentasyon yeteneğini ve canlılık faaliyetlerini yitirmeden enkapsüle edilebileceği belirlenmiştir [7].

Tablo 1. Mikroenkapsülasyon teknolojisinde kullanılan kaplama materyalleri, uygulama yöntemleri ve alanları

Kategori	Kaplama Materyali	Mikroenkapsülasyon Yöntemi	Uygulama Alanı
Karbohidrat	Nişasta, maltodekstrin, mısır şurubu tozu, modifiye nişasta, siklodekstrin, kitosan	Püskürtmeli ve dondurarak kurutma Ekstrüzyon yöntemi Koaservasyon yöntemi	Aroma bileşenleri Yağlar Probiyotik bakteriler
Selüloz	Karboksimetilselüloz, metilselüloz, etilselüloz, selülozasetat-bütilat-fitalat	Koaservasyon yöntemi Püskürterek kurutma	Tatlandırıcılar Lezzet vericiler Vitaminler
Gamlar	Gam akasya, agar, sodyum aljinat, karregen	Püskürterek kurutma	Lezzet vericiler Yağlar Probiyotik bakteriler
Lipidler	Vaks, parafin, diaçilgliserol	Emülsiyon Lipozom Film oluşturma	Vitaminler Enzimler
Protein	Gluten, kazein, jelatin, albumin, peptidler	Emülsiyon Püskürterek kurutma	Probiyotik bakteriler Balık yağı Enzimler

Gamlar arasında, gam arabik olarak da isimlendirilen akasya gamının, emülsifiye edici özelliğinin mükemmel olması sebebiyle kullanım alanı çok yaygındır. Gam arabığın emülsifiye edici özelliği yapısında bulunan proteinlerle ilişkilidir [8].

Chan ve Zhang [9] çalışmalarında *Lactobacillus acidophilus* bakterisinin probiyotik özelliğini muhafaza süresince koruması için enkapsülasyon tekniğini incelemişlerdir. Mikrobiyal hücre içeren tozlar, sodyum aljinat ve hidroksipropil selüloz kombinasyonu ile hazırlanan kaplama materyalinin içine basınç yardımıyla sıkıştırılmış mikrobiyal hücre tozları üzerindeki basınç 90 MPa iken bakterilerin yaşamsal faaliyetlerini bir miktar kaybettiği gözlemlenmiştir. Uygulanan basınç 90 MPa'ın üzerine çıktıkça hücrelerin faaliyetlerinin doğrusal olarak azaldığı görülmüştür. Fakat 60 MPa basınç altında sıkıştırılarak enkapsüle edilen bakterilerin stabilitesi, herhangi bir işlem uygulanmayan hücrelere göre 30 günden sonra (25°C'de) yaklaşık 10 kat fazla olduğu belirlenmiştir.

Proteinler sahip oldukları fonksiyonel özelliklerinden dolayı mikroenkapsülasyon işlemi için iyi kaplama materyalleridir. Özellikle lezzet bileşenlerinin bağlanmasında oldukça iyidirler [5]. Jelatin, iyi emülsiyon özelliği ve film oluşturma etkisi göstermesi, suda çözünürlüğünün yüksek ve yenilebilir olması sebebiyle iyi bir kaplama materyalidir [10]. Peyniraltı suyu proteinleri süt yağının enkapsülasyonunda kaplama materyali olarak %10-30 w/w konsantrasyonlarında yapılan bir çalışmada kullanılmış ve yaklaşık %90'dan fazla verim alınmıştır [11].

MİKROENKAPSÜLASYON TEKNİKLERİ

Püskürterek Kurutma Yöntemi

Bu yöntem; gıda endüstrisinde 1950li yıllardan beri yaygın şekilde kullanılan yöntemlerden biridir. Genel olarak bu yöntemde gözlenen proses bir kurutma yöntemi olarak düşünülmesine karşın, aktif materyalin koruyucu polimer bir matriks içerisinde tutuklanması nedeniyle, günümüzde bu teknik mikroenkapsülasyon tekniği olarak kabul edilmektedir [3]. Yöntemde uygulanan proses, işlemin gerçekleştirileceği emülsiyonun ve dispersiyonun hazırlanması, hazırlanan dispersiyon ve emülsiyonun homojenizasyonu ile elde edilen homojen kitlenin kurutma hücresindeki atomizasyonunu kapsayan üç aşamada gerçekleşmektedir. Proses, işlemin uygulanacağı çözeltinin, atomize edilecek materyalin kaplama ajanı çözeltisi içerisindeki dispersiyonu ve emülsiyonu ile hazırlanmaktadır. Burada kaplama materyali olarak, jelatin, modifiye nişasta, dekstrin, ya da jelleşme özelliği göstermeyen bir hidrokoloid kullanılmaktadır [3]. Kurutma işlemi esnasında taşıyıcı gaz olarak genellikle hava veya nadiren de olsa inert gaz olan azot kullanılmaktadır [12].

Püskürtmeli kurutma yöntemi ile enkapsülasyon gıda endüstrisinde gıda bileşenlerinin (yağlar, aroma maddeleri, antioksidanlar, v.b.) kaplanmasında ve sıvı ürünlerin toz formuna dönüştürülmesinde kullanılır. Yöntemin uygulanmasında, sıvı ürün atomizör yardımı ile çok küçük damlacıklar halinde sıcak hava ortamına verilir. Yapıdaki su yüksek buharlaşma hızından dolayı kısa sürede üründen uzaklaşır [1]. Yöntemde, elde

edilen atomize partiküllerin sertleşmesi sırasında suyun kaplama maddesi içerisindeki hızlı evaporasyonu nedeniyle, çekirdek materyalinin sıcaklığının 100°C'nin altında kalması sağlanmaktadır. Söz konusu bu özellik yüksek sıcaklığa duyarlı ürünlerde yöntemin kullanılmasını olanaklı kılmaktadır. Bununla birlikte elde edilen partikül çaplarının küçük olması, ingrediyelemlerin çözünürlük özelliklerinin artışı sağlanmaktadır. Ancak özellikle kuru karışımlarda meydana gelen ayrılma problemleri, yönetime bir aglomerasyon aşamasının ilavesi ile giderilebilmektedir. Prosesin uygulanmasında karşılaşılabilecek en önemli dezavantaj ise, çekirdek maddesinin işlem sırasında yüzeye yapışabilme olasılığıdır. Bu olgu üründe oksidasyon için bir potansiyele neden bulunmakta ve son üründe aroma dengesinin değişmesi ile kendini göstermektedir [3].

Püskürterek kurutma yönteminin, uçucu ve sıcaklığa duyarlı maddelerin kapsülasyonunda kullanılan geliştirilmiş şekline, "soğuk kurutma prosesi" ismi verilmekte ve bu proseste, kaplama maddesi içerisinde yayılmış halde bulunan çekirdek emülsiyonu, oda sıcaklığındaki ya da, daha düşük sıcaklıktaki etil alkol ve polialkoller gibi kaynama noktası düşük sıvılar içerisine püskürtülerek vakumda kurutulmaktadır [3].

Bir çalışmada sitral ve linaly asetatın enkapsülasyonu üzerinde çalışılmıştır. Püskürterek kurutma yöntemi, uçucu ürünlerin karışımlarının (sitral ve linaly asetat 80/20 (w/w)) enkapsüle edilmesinde uygulanmıştır. Kaplama materyali olarak farklı oranlarda gam arabik ve maltodekstrin karışımları kullanılmıştır. Kurutma işlemi sırasında, hava-ürün temas süresi kısa tutularak, 300–400°C'de giren hava yardımıyla enkapsülasyon işlemi yapılmıştır. Bu teknik lezzet bileşenlerinin hassas bir şekilde korunmasını sağlamıştır [13].

Klinkesor ve arkadaşları [14], tuna balığı yağının püskürtmeli kurutma ile mikroenkapsülasyonunda kaplama materyali olarak kazeinat ve laktoz kullanmışlardır. Oksidasyonun önlenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada sisteme taşıyıcı gazın (hava) giriş sıcaklığı 177°C ve çıkış sıcaklığı ise 75°C olarak seçilmiştir.

Shu ve arkadaşları [15], püskürterek kurutma metoduyla likopen mikrokapsülasyonu üzerine çalışmışlardır. Kaplama materyali olarak 3/7 oranında jelatin/sakkaroz kompleksi seçilmiş ve çekirdek ile duvar materyali oranı 1/4 olarak belirlenmiştir. Sistemde giriş sıcaklığı 55°C ve çıkış sıcaklığı ise 190°C olarak belirlenmiştir. Homojenizasyon basıncı 40 MPa olarak uygulanan enkapsülasyon işlemi sonunda bir miktar izomerizasyona uğrayan likopen iyi bir depolama stabilitesi göstermiştir.

Diğer bir çalışmada, siyah havuç antosiyanin pigmentinin depolama stabilitesini arttırmak amacıyla mikroenkapsülasyon işlemine başvurulmuştur. Kaplama materyali olarak maltodekstrin kullanılmış ve püskürtmeli kurutma yöntemiyle hava giriş sıcaklığı 160°C, çıkış sıcaklığı ise 107°C olarak belirlenmiştir [16].

Desai ve Park [1], çalışmalarında C vitaminini püskürterek kurutma metodu ile mikroenkapsüle etmişlerdir (Şekil 2). Kaplama materyali olarak kitosan seçilmiş ve sisteme iç faz ile eşit hacimlerde alınarak homojenize edilmiştir. Daha sonra bileşenlerin ilk hacmi kadar trifenolfosfat solüsyonu eklenerek tekrar bir homjenizasyon işlemi uygulanmıştır. Taşıyıcı havanın sisteme giriş sıcaklığı 175°C olarak ayarlanmış ve C vitamini mikroenkapsülleri elde edilmiştir (Şekil 3).

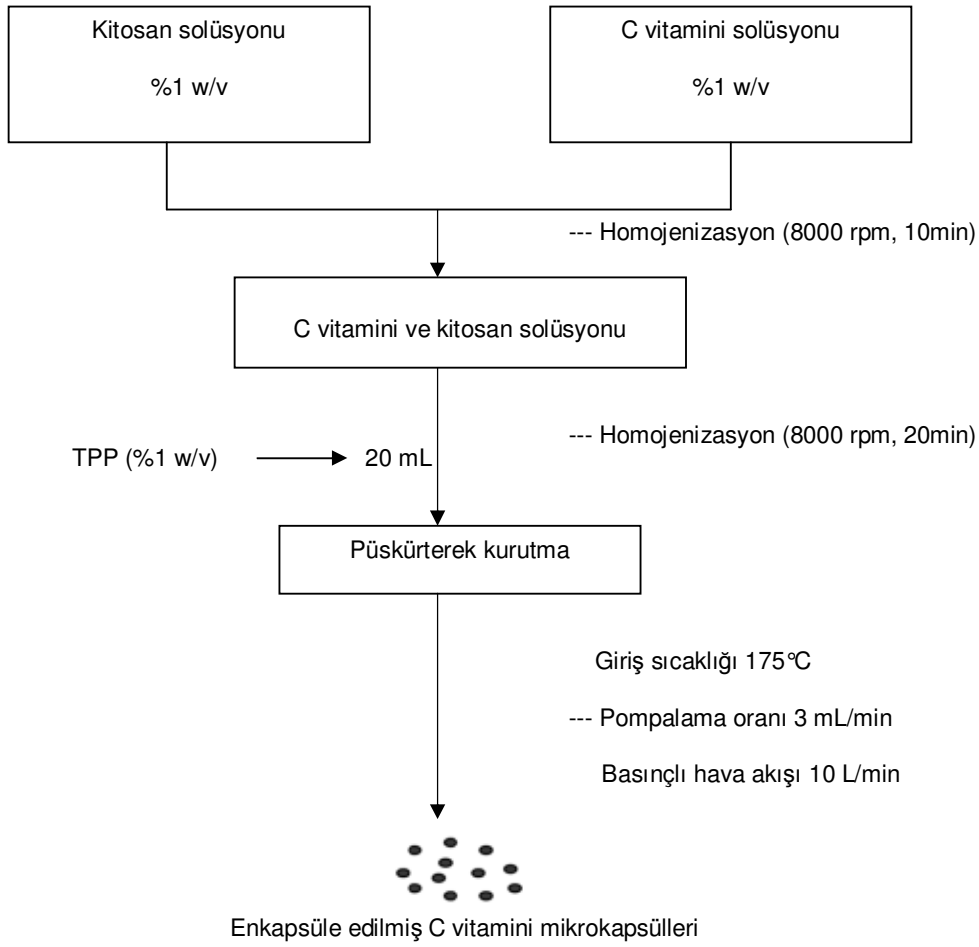
Dondurarak Kurutma Yöntemi

Dondurarak kurutma işlemi ürünün dondurulması ve buz kristallerinin süblimasyonla üründen uzaklaştırılması temeline dayanmaktadır. Dondurarak kurutma üç aşamada gerçekleşir. Dondurma, şoklama veya derin dondurucuda gıdadaki suyun buz kristalleri haline dönüştürülmesi aşamasıdır. Temel kurutma, buz kristallerinin süblimasyonla üründen uzaklaştırılmasıdır. İkinci kurutma ise, gıdada bulunan bağlı suyun uzaklaştırılmasıdır [5].

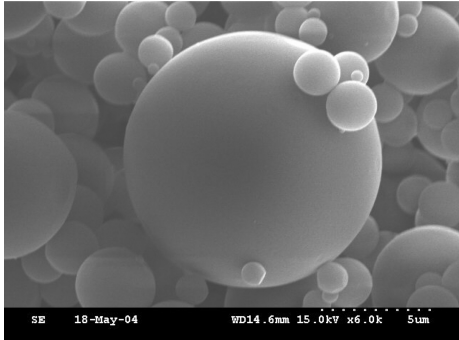
Yapılan bir çalışmada, balık yağının oksidasyona karşı dayanıklılığının artırılmasında mikroenkapsülasyon yöntemlerinden dondurarak kurutma işlemi uygulanmıştır. Mikroenkapsülasyon işlemi gerçekleştirilmek üzere, laktoz-sakkaroz-jelatin ve pullulan-sakkaroz-jelatin içermekte olan iki farklı karışım hazırlanmış, homojenize edildikten sonra elde edilen emülsiyon -10°C'de hava üfleli dondurucuda dondurulmuştur. Dondurulan örnekler -50°C kondensör, 10°C plaka sıcaklığı koşullarında vakum altında, 10 saat süre ile kurutulmuştur. Peroksit değeri analizi sonuçlarına göre, kaplama materyali olarak laktoz içeren örneğin, pullulan içeren örneğe göre daha yüksek oranda oksidasyona uğradığı görülmüştür [17].

Kaushik ve Roos [18], yüksek oranda lezzet bileşenleri içeren limonenin dondurarak kurutma yöntemi ile enkapsülasyonu üzerinde çalışmışlardır. İki farklı oranlarda (kuru madde) limonen örnekleri hazırlanmış (9:1 ve 8.5:1.5 (w/w)), gam arabic, sakkaroz ve jelatin karışımı (1:1:1 (w/w)) ile yüksek basınç altında (50-250 MPa) ve tek kademeli 100 MPa basınç altında homojenize edilmiştir. Daha sonra kaplama işlemi uygulanmıştır. Sonuçlara bakıldığında gam arabic, dondurarak kurutma yönteminde iyi bir kaplama materyali olarak görülmüş, jelatinin iyi bir film oluşturma özelliği olduğu ortaya çıkmıştır. Bu karışımın (gam arabic, sakkaroz, jelatin) dondurarak kurutma yöntemi ile limonenin enkapsülasyonunda başarılı bir şekilde kullanılabileceği bildirilmiştir. Ayrıca tek kademeli olarak uygulanan 100 MPa basıncın etkin bir homojenizasyon sağladığı görülmüştür.

Dondurarak kurutma yönteminin avantajları; aroma kaybının çok düşük olması, elde edilen ürünün rekonstitüsyon özelliklerinin çok iyi olması, çözünen maddelerin gıda içerisindeki hareketi dolayısıyla kayıpların minimum olmasıdır. Buna karşın yüksek maliyet ve uzun işlem süresi gibi dezavantajları bulunmaktadır [19].



Şekil 2. C vitamini püskürtmeli kurutma ile enkapsülasyonu [1]



Şekil 3. Enkapsüle edilmiş C vitamini mikrokapsül [1]

Hava Süspansiyon Kaplama Yöntemi

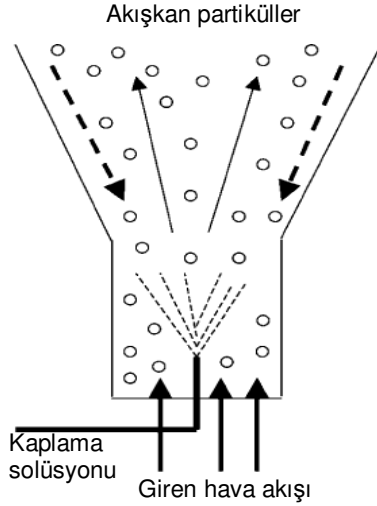
Akışkan yatak prosesi olarak da isimlendirilen bu yöntem, yukarıya doğru hareketle ısıtılan ya da soğutulan hava akımı içerisindeki çekirdeğin asılı olarak tutulmasına dayanmaktadır. Bu yöntemde erimiş ya da buharlaştırılabilen bir çözücü içerisinde bulunan çözünmüş kaplama maddeleri genellikle, selüloz türevlerini, dekstrinleri, emülgatörleri, lipitleri, proteinleri ve nişasta türevlerini içermektedir [3].

Yöntemde kaplama maddesi hücre içerisine bir meme aracılığı ile atomize edildikten sonra, asılı partiküllerin yüzeyinde çok ince bir sınır tabakası oluşmaktadır. Asılı durumdaki partiküller, hava akımı en üst noktaya ulaştığında dışarıya doğru hareket edip aşağıya doğru olan hava kolonu ile akışkan yatak kurutucuya ulaşmakta ve burada kaplama maddesi kuruyarak sertleşmektedir (Şekil 4). Sistemde soğuk hava solvent bazlı kaplamalar için, sıcak hava ise uçucu bileşenler için kullanılır [1].

Ekstrüzyon Yöntemi

Daha çok, düşük sıcaklıkta uygulanan enkapsülasyon yöntemi olarak bilinen bu yöntem, uçucu ve ısı stabilitesi düşük olan aroma maddelerinin enkapsülasyonunda kullanılmaktadır [3].

Bu yöntemin en önemli avantajı, oksidasyona eğilimli lezzet bileşenlerine normalden daha uzun bir raf ömrü sağlamasıdır. Prensibi ise, atmosfer gazlarının camsı haldeki karbonhidrat matrisleri içine doğru yavaşça difüze olması ve böylelikle oksijene karşı bir bariyer oluşturulmasıyla sağlanır [20].



Şekil 4. Akışkan yatak püskürterek kaplama [1]

Santrifüj ile Suyun Uzaklaştırılması Yöntemi

Bu yöntem daha çok vitamin üreticileri, özellikle de Vitamin A asetat üreticileri tarafından kullanılmaktadır. Yöntemin uygulandığı enkapsülasyon başlığı, ortak bir merkeze sahip beslenme tüpünden ibaret olup, kaplama ve çekirdek maddesi bu tüp içerisinden aletin dış yüzeyinde bulunan memelere ayrı ayrı pompalanmakta ve proseste yer alan çekirdek materyali dıştaki tüpün içerisinden akmaktadır. Çekirdek materyali proses sırasında merkezde yer alan tüpün içerisinden akarken kaplama materyali dışta yer alan tüpün içerisinden akmaktadır. Bu aşamada sıvı, çubuk şeklindeki kaplama maddesi içerisinde bulunmakta ve santrifüj kuvveti etkisiyle kaplama maddesi dışarıya doğru itilerek çok ince parçacıklara ayrılması sağlanmaktadır. Söz konusu bu olay sırasında meydana gelen yüzey tansiyonu çekirdeği çevreleyerek enkapsülasyon işleminin tamamlanmasını sağlamaktadır [3].

Döner Süspansiyon Separasyon Yöntemi

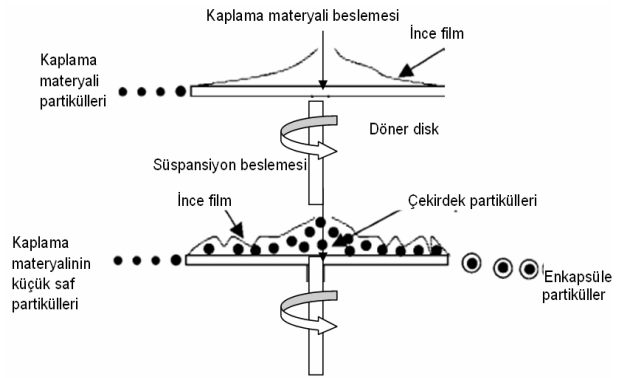
Günümüzde yeni sayılabilecek bir enkapsülasyon yöntemi olan bu teknikte prensip olarak; çekirdek partikülleri saf ve sıvılaştırılmış kaplama maddesi içerisine süspansiyon meydana getirecek şekilde karıştırılmakta ve oluşan süspansiyon dönen disk üzerine bir film tabakası olacak şekilde akıtılmaktadır. Oluşan film tabakasından sonra, çekirdek partikülleri etrafında yer alan ve kaplama maddesini oluşturan kalıntı sıvı, merkezkaç kuvvetinin etkisi ile ayrılmakta ve kurutma işlemi ile sertleşmesi sağlanmaktadır. Bu yöntem aspartam, metionin ve vitaminler gibi neme duyarlı gıdaları korumak için uygulanabilir. Şekil 5'te kapsüllü parçacıkların döner süspansiyon separasyon yöntemi prosesi gösterilmektedir [1].

Koaservasyon Yöntemi

Bu yöntem, polimer özellik gösteren bir çözüldiden, kaplama materyaline ait sıvı fazın ayrılması ve bu fazın asılı çekirdek partikülleri etrafında üniform bir tabaka

halinde tutulmasını içermektedir [1]. Yöntemde çekirdek ve kaplama materyalinin yüzey enerjileri, sıcaklık, pH ve bileşimleri gibi bazı sistem özellikleri değiştirilerek, kümeleşmeleri sağlanmaktadır. İşlem tamamlandıktan sonra mikrokapsüller filtrasyon ve santrifügasyon gibi ayırma tekniklerinden biri kullanılarak ortamdan ayrılmakta ve daha sonra da, tek tek partiküller standart bir teknik kullanılarak kurutulmaktadır [3].

Yapılan bir çalışmada, hidrolize kazein koaservasyon yöntemi ile mikrokapsüle edilmiştir. Kaplama materyali olarak soya proteini izolatu ve pektin kompleksi kullanılarak örneklerin nem çekme ve acılık değerlerinin azaltılması amaçlanmıştır. Hidrofobik özellik mikrokapsül içindeki hidrolizat miktarı ile ters orantılı olarak azalmaktadır. Çalışma sonunda kapsülleme verimliliğinin %78.8–91.62 arasında olduğu belirlenmiştir. Kapsüllü örneklerin, benzer yüzey gerilimi değerleri, serbest hidrolizattan daha yüksek olarak belirlenmiş ve daha düşük higroskopik değerler elde edilmiştir. Duyusal panel testlerine göre, kapsüllü örneklerin serbest hidrolizattan daha az acı tada sahip olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada, koaservasyon yöntemiyle mikrokapsülasyonda soya proteini ve pektin karışımının etkin bir kaplama materyali olduğu ayrıca hidrolizatın acı tadının giderilmesinde kullanılabileceği belirlenmiştir [21].



Şekil 5. Döner süspansiyon separasyon yöntemi ile kaplama [1]

Kompleks Oluşturma Yöntemi

Moleküler düzeyde gerçekleştirilen bu yöntemde, enkapsülasyon ajanı olarak siklodekstrin kullanılmaktadır. Siklodekstrin yapılarının en önemli özelliği, yapının orta kısımlarında bulunan belli boyutlardaki boşluklardır. Siklodekstrin halka yapısında dış tarafa doğru yer alan hidroksil gruplarına karşın, merkezde yer alan proton yoğunluğu, molekülün bu bölümüne hidrokarbon özelliği kazandırmaktadır. Bu özellikteki siklodekstrinlerin hidrofobik moleküller ile stabil kompleksler oluşumu sağlanmaktadır. Komplekslerin oluşumunda suya ihtiyaç duyulmakta olup, oldukça kararlı bir yapı gösteren kompleks çözüldiden siklodekstrinlerin uzaklaştırılması, çöktürme ile gerçekleşmekte, filtrasyon yöntemi ile ortamdan alınarak alışımlı yöntemler ile kurutulmaktadır.

Meydana gelen komplekste çekirdek materyali miktarı, %6–15 arasında değişmektedir [3].

Kokristalizasyon Yöntemi

Enkapsülasyon yöntemleri arasında en önemli ve en çok kullanılan bu yöntem, diğer yöntemlere göre daha basit ve daha ucuzdur. Bu yöntemde, yapıda doğal olarak bulunan sakkaroz kristalleri değerlendirilmektedir. Sakkaroz ağıt tipik kristaller katı formda yer almakta ve çok doymuş çözeltilerden sakkaroz kristalize edilebilmektedir. Bu şekildeki bir proseste, sakkaroz kristallerinin toplam boyutu, 3 µm'den 30 mm'ye ulaşmakta ve bu şekilde materyal yakalanabilmektedir. Konsantr sakkaroz şurubu, doyma noktalarında eklenen bu materyali enkapsüle eder. Söz konusu bu olayda, nemli bir ortam tercih edilmekte ve bu ortam daha sonra kurutulmaktadır [3]. Bu yöntemin en önemli avantajı; çözünebilen, homojen, dispersiyon oluşturabilen, topaklanmaya dirençli, stabil enkapsüle materyaller oluşturmaktır [22].

Lipozom Dağıtma Yöntemi

Fosfolipidler suda dağıtıldığında, kendiliğinden oluşan küre şeklindeki kabarcıklara lipozom adı verilir. Gıda ve beslenme endüstrisinde, lipozomlar enzim, vitamin ve antioksidanların stabilitesini artırmak için kullanılmaktadırlar. Lipozomların hidrofilik ve hidrofobik molekülleri tutma yetenekleri tarım ve beslenme endüstrisinde taşıma sistemi olarak yararlanılmalarına olanak sağlamıştır. Lipozomların farklı materyalleri kapsüle etme yetenekleri ve lipozom teknolojisindeki gelişmeler, kısımlara ayrılmış sistemlerde aktif ajanların içeri alınmasında lipozomların kullanım oranını artırmıştır [23]. Lipozomların diğer mikroenkapsülasyon yöntemlerine (püskürterek kurutma, akışkan yatak prosesi) göre en büyük avantajı, yüksek su aktivitesi uygulamalarında koruyucu özelliğini kaybetmemesidir [20].

Bir çalışmada, lipozomlar içerisinde enziminin tutulması ile ilgili olarak mikroenkapsülasyon tekniği kullanılmış ve bu teknik yardımıyla Saint-Paulin peynirinin olgunlaşması gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar, söz konusu peynirde bu şekilde yapılan bir işlem ile olgunlaşmanın hızlı olarak gerçekleştiğini ifade etmişlerdir. Söz konusu araştırmada iyonik lipozomların, nötral lipozomlardan daha fazla enzim tutabilme yeteneğinde olduğu ifade edilmiştir [24].

SÜT TEKNOLOJİSİ ve MİKROENKAPSÜLASYON

Mikroenkapsülasyon tekniği ile ilgili olarak özellikle 1980li yılların sonlarında yapılan araştırmalarda büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Bu çalışmaların neticesinde, özellikle peynir teknolojisi ile diğer süt ürünlerinde (yoğurt, dondurma) kalite kriterlerini ortaya koyan tat ve aroma maddelerinin gelişimleri ve bu kriterlerin belli düzeyde korunabilmeleri için söz konusu tekniğin önemli bir konuma sahip olduğu tespit edilmiştir.

Peynir Teknolojisinde Mikroenkapsülasyon

Peynir, peynir mayası veya zararsız organik asitlerin etkisiyle pıhtılaştırılan sütlerin, değişik şekillerde işlenmesi, bu arada süzülmesi, şekillendirilmesi, tuzlanması, bazen tat ve koku verici zararsız maddeler katılması, çeşitli süre ve derecelerde olgunlaşması sonucunda elde edilen, besin değeri üstün bir süt mamulüdür [25].

Peynirde olgunlaşmanın hızlandırılması için, ilk uygulanan yöntemler, depolama sıcaklığının yükseltilmesi, süte istenilen özellikte gelişme sağlayan mikroorganizmaları içeren starter kültürlerin ilave edilmesi veya bu iki yöntemin birlikte uygulanmasıdır. Olgunlaşma süresini kısaltmak amacıyla uygulanan işlemlerdeki temel prensip; tat ve aroma oluşturan mikroorganizmaların ya da enzimlerin faaliyetlerini, yani kısaca bunlara ait biyokimyasal değişimlerin hızlandırılmasına dayanmaktadır [26].

Son yıllarda, peynirlerde istenen düzeylerde tat ve aromanın gelişimi için, istenen özelliklere sahip substratı enkapsüle edilebilecek bir sistem geliştirilmiş ve uygulamada yerini almıştır. Bu sistemde elde edilen mikrokapsüller, süte pıhtılaşmasından önce ilave edilerek tat ve aromayı oluşturuca ürünlerin peynirinin olgunlaşması sırasında kapsüller içerisinde oluşması sağlanmaktadır. Bu şekilde enzim ya da starter kültürün direk olarak peynir ile teması kesilmekte ve bu faktörlerden meydana gelebilecek olumsuz gelişmeler önlenmektedir [3].

Beyaz peynir üzerinde yapılan bir çalışmada, probiyotik kültür olarak *Bifidobacterium bifidum* BB-12 ve *Lactobacillus acidophilus* LA-5 suşları kullanılmıştır. Ürün içerisinde, enkapsüle edilmeyen kültürlerin edilenlere göre sayılarının daha kısa sürede azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca asetaldehit ve diasetil gibi tat ve aroma bileşenlerinin enkapsüle kültür içeren peynirlerde daha yoğun olduğu tespit edilmiştir [27].

Sert peynirlerde mikrokapsülasyon uygulamaları ile proteinler ile yağların yavaş ve dengeli bir şekilde indirgenmesi sonucu; bu tip peynirlerde tat ve yapının geliştiği tespit edilmiştir. Sert peynirlerde gözlenen bu olgunlaşma prosesinde, olgunlaşmakta olan peynirin özenle seçilmiş bir sıcaklıkta yaklaşık olarak bir yıl süreyle muhafaza edilmesi gerekmektedir. Yumuşak ve orta sertlikteki peynirlerde ise bu süre, ortalama 4 ile 6 ay arasında olmaktadır. Peynirlerde olgunlaşma döneminde çok önemli değişimlerin meydana geldiği ve bu değişimlerin esas olarak mikrobiyal enzimlerden (endopeptidaz ve ekzopeptidaz) kaynaklandığı belirlenmiştir. İşte bu amaçla laboratuvarlarda yapılan araştırmalarda, bu iki tip enzim kombine edilerek mikroenkapsülasyon tekniği ile söz konusu olgunlaşma dönemi süresinin azaltılmasına çalışılmıştır. Araştırma sonucunda bu anlamda başarı kazanılarak olgunlaşma süresi azaltılmış ve depolamadan kaynaklanan giderler azaltılabilmektedir. Mikroenkapsülasyon tekniği yardımı ile gerçekleşen ve enkapsüle enzimlerin kullanımı ile olumlu sonuçlar veren bu uygulamalar daha da geliştirilerek günümüzde hemen hemen tüm peynir

çeşitlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Gerçekleşen bu uygulamalar neticesinde, peynirlerde tespit edilen tekstürel problemlerin tamamının yok edildiği belirlenmiştir [3].

Yapılan bir çalışmada, Cheddar peynirinin olgunlaşmasını hızlandırmak amacıyla ilave edilen aminopeptidaz enzimine, mikroenkapsülasyon işlemi uygulanmıştır. Bunun için kaplama materyali olarak aljinat-kitosan-kalsiyum klorür (1.6- 0.1- 0.1 % w/w) kompleksi seçilmiştir. Yapılan bu çalışmada enzim ilave edilmeyen (kontrol peyniri), serbest halde ve enkapsüle edilen aminopeptidaz enzimi içeren peynir örneklerinin duysal özellikleri ve proteoliz düzeyleri karşılaştırılmıştır. Duysal özellikler açısından enkapsüle edilen enzim içeren peynirlerin tat, aroma ve tekstürel değerleri, diğer örneklerle göre daha yüksek belirlenmiştir. Ayrıca depolama süresince toplam serbest aminoasit miktarı en fazla enkapsüle enzim içeren peynir örneğinde, daha sonra serbest enzim içeren örneklerde tespit edilmiştir. Bu da aminopeptidaz enziminin olgunlaşmayı hızlandırdığını, ayrıca enzimin enkapsüle edilmesi de proteoliz etkinliğini artırdığını göstermiştir [28].

Dondurma ve Dondurulmuş Ürünlerde Mikroenkapsülasyon

Süt teknolojisinde önemli yeri bulunan laktik asit bakterilerinin çok sayıda süt ürününün proses aşamasında yer aldığı bilinmektedir. Bununla birlikte ince bağırsak sisteminde yaşayan laktik asit bakterilerinin metabolizmanın işlevi sırasında da sağlık açısından çok önemli bazı yararlar sağladığı belirtilmektedir. Dondurma ve dondurulmuş, ürünlerde üretim sırasında laktik asit bakterileri üzerinde gözlenen bu olumsuz etkileri ortadan kaldırabilmek amacıyla, söz konusu bakterileri stabil hale getirebilmek için çok sayıda yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en önemlisi, basit ve ucuz bir yöntem olan kalsiyum aljinat jel içerisinde laktobasillerin tutuklanarak enkapsüle edilmesi tekniğidir. Söz konusu yöntemde, kaplama materyali olarak aljinatlar kullanılmakta ve bu aljinatların; toksik etki göstermeyip, gıdalarda hareketsiz konumdan hareketli konuma geçebilen materyaller olduğu ifade edilmektedir. Aljinat jel, serbest Ca^{++} iyonları tarafından çözülebilmekte ve bu şekilde mikrobiyal hücreler serbest kalabilmektedirler. Bu söz konusu enkapsülasyon tekniği, bakterilerin dondurma ve dondurularak depolama işlemi sırasında serbest bakteri hücrelerinden daha fazla yaşamaları ve aktivite göstermelerini sağlamaları nedeniyle oldukça önem taşımaktadır [3].

Bu konuda yapılan bir çalışmada, mikroenkapsülasyonun dondurma içerisine ilave edilen iki probiyotik bakteri (*Lactobacillus casei* (Lc-01) ve *Bifidobacterium lactis* (Bb-12)) üzerine etkileri araştırılmıştır. Mikroenkapsüle edilmeyen probiyotik bakteri içeren ürün 180 gün, -20 °C' de muhafaza edilmiş ve probiyotiklerin canlı kalma miktarları izlenmiştir. 1. günde 5.1×10^9 ve 4.1×10^9 kob/mL iken 180 gün sonra 4.2×10^6 ve 1.1×10^7 kob/mL olduğu tespit edilmiştir. Probiyotik bakteriler kalsiyum aljinat ile mikroenkapsüle edildikten sonra yine aynı muhafaza sıcaklığı ve süresi

baz alınarak bakteri canlılıkları izlenmiş ve bir önceki değerlerin %30 üzerinde canlı bakteri sayılmıştır. Bu çalışma gösterir ki mikroenkapsülasyon, dondurmada canlı probiyotik bakterilerin sayısını arttırmada kullanılan alternatif bir yöntemdir [29].

Sheu ve ark. [30], tarafından yapılan bir çalışmada sodyum aljinat ile kapsüllen *Lactobacillus bulgaricus* bakterilerinin dondurulmuş sütlü tatlılarda canlı hücre sayıları araştırılmıştır. Bulgulara göre enkapsüle edilen hücreler ile edilmeyen hücrelerin hayatta kalma oranları sırası ile %90 ve %40 olarak tespit edilmiştir. Aynı zamanda çapı 30 µ'dan büyük olan hücrelerin ortalama 15 µ olanlara göre daha fazla canlı kaldıkları belirlenmiştir.

Süt Yağının Mikroenkapsülasyonu

Süt yağının, özellikle süt ve ürünlerinin organoleptik özellikleri üzerinde önemli ölçüde etkilerinin olduğu tespit edilmiştir. Moleküllü yağ asitlerinin trigliseridleri ile birlikte süt bileşiminde bulunan laktozun, sütn aromasına katkıda bulunduğu bilinmektedir. Bununla birlikte, süt ve ürünlerinin organoleptik özelliklerinde çok önemli bir payı bulunan süt yağının insan beslemesinde de önemli görevleri olduğu belirtilmektedir. İşte bu nedenlerden dolayı, süt bileşenleri arasında çok hassas bir madde özelliği gösteren süt yağının, mikroenkapsülasyon tekniği ile dayanıklılığının artırılması ve dolayısıyla raf ömrünün uzatılması çalışmaları gerçekleştirilmiş ve bu çalışmalarda olumlu sonuçlar elde edilmiştir [3].

Young ve arkadaşları [11], süt yağının, peynir altı suyu protein konsantresi ve izolatu ile püskürtmeli kurutma yöntemi kullanarak mikroenkapsülasyonu üzerine bir çalışma yapmışlardır. Mikroenkapsülasyon ajan tipi ve konsantrasyonu (%10 ve 30 g/g) ile yağ miktarının (%25 ve 75 g/g) mikroenkapsülasyon verimi ve etkinliği üzerine etkilerini araştırmışlardır. Enkapsülasyon veriminin tüm sistemler için %90'dan fazla olduğu belirlenmiştir.

PROBİYOTİK GIDA ÜRETİMİNDE MİKROENKAPSÜLASYON

Probiyotik mikroorganizmaların üretim ve tüketim sırasında proses koşullarına ve sindirim sisteminin zor şartlarına karşı canlı kalma sürelerinin arttırılmasında, mikroenkapsülasyon tekniği son yıllarda üzerinde durulan bir yöntem haline gelmiştir [31].

Probiyotikler, yeterli sayıda alındıklarında konakçı sağlığı üzerinde olumlu etkiler gösteren canlı mikroorganizmalardır. Probiyotikler genellikle fermente süt ürünleri başta olmak üzere diğer fermente gıdalara katılarak fonksiyonel özellik kazandırmak amacıyla kullanılmakta ayrıca, tablet, kapsül veya toz formunda üretilen diyet destekleyici gıdaların bileşimine katılmaktadır [31]. Probiyotik gıda üretimini kısıtlayan en önemli etken, kullanılan mikroorganizmaların stabilitesini, yani canlılığını koruyamamasıdır. Son yıllarda yapılan bazı araştırmalarda mikroenkapsülasyon tekniğinin, probiyotiklerin teknolojik özelliklerinin ve canlı

kalma sürelerinin artırılmasında kullanılan yeni yöntemlerden biri olduğu bildirilmiştir [32]. Bu tekniğin temel prensibi, probiyotik bakteri hücrelerinin bir jel içerisinde hapsedilmesi ve bu jel yapısının ince bağırsakta çözünerek bakterinin zarar görmeden bağırsak ortamında koloni oluşturması esasına dayanmaktadır [33].

Bu yöntemde aktif mikroorganizma çevresinde çeşitli maddelerle koruyucu bir film veya kaplama tabakası oluşturulmaktadır. Bu teknik, immobilize kültür teknolojilerinden hareketle geliştirilmiştir. Mikroorganizma kaplamada püskürterek kurutma, ekstrüzyon ve emülsiyon gibi çeşitli yöntemler, birlikte veya ayrı ayrı kullanılabilir. Kalsiyum-aljinat jel kapsülü oluşumu esasına dayalı bir işlem, günümüzde en çok araştırılan mikroenkapsülasyon tekniğidir. Bunun dışında jelatin, pektin, nişasta, kappa-karreganan, gellan gam, aljinat, peyniraltı suyu gibi gıdaların bileşiminde güvenle kullanılabilen maddeler de kaplama materyali olarak kullanılabilir. Mikroenkapsülasyon tekniği ile kaplanan mikroorganizmalar, 200 µm–2000 µm çaplı partiküller içerisinde canlılıklarını koruyabilmektedir [34].

Probiyotik gıda üretiminde yaygın olarak kullanılan bakteriler *Lactobacillus* spp. (*Lb. acidophilus*) ve *Bifidobacterium* spp. (*B. bifidum*) türleridir. Probiyotik mikroorganizmaların beklenen faydalı etkiyi sağlayabilmeleri için, 10^8 kob/mL veya daha fazla sayıda vücuda alınmaları ve içinde bulundukları gıdaların üretimi ve raf ömrü süresince canlı kalabilmeleri gerekmektedir [31].

Kapsülleme yolu ile koruma altına alınan bakterilerin yoğurtta canlılıklarını koruma oranı % 80–95 arasında değişmektedir. Kapsülleme işlemi sırasında bakteri hücreleri fazla zarar görmemekte ve enzimatik faaliyetler engellenmemektedir. Son yıllarda, probiyotik bakteriler ile prebiyotik maddelerin birlikte kapsül formunda immobilizasyona tabi tutulmasının probiyotik hücrelerin çevresel etmenlere karşı direncini daha fazla artırdığı belirlenmiştir [35].

Guerin ve ark. [36], tarafından yapılan bir çalışmada, *Bifidobacterium bifidum* aljinat, pektin ve peyniraltı suyu jeli ile kaplanmıştır. Laboratuvar koşullarında yapılan deneme sonuçlarına göre kaplama işlemi uygulanmayan hücreler canlılıklarını kaybederken, kaplama işlemi uygulanan hücreler pH 2.5'te 2 saate kadar canlılıklarını koruyabilmişlerdir.

Chen ve ark. [37], probiyotiklerin mikroenkapsülasyonunda gastrointestinal koşullara dayanıklılıkları açısından, kullanılacak olan mikroenkapsülasyon materyallerinin en uygun kombinasyonunu saptamak amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda en uygun kombinasyonun %1 peptid ve %3 fruktooligosakkarit ile karıştırılmış olan %3'lük sodyum aljinat olduğunu bulmuşlardır.

Mandal ve ark. [38], mikroenkapsüle edilmiş *Lactobacillus casei* NCDC-298 türünün canlılığı üzerine farklı aljinat konsantrasyonlarının (%2, %3 ve %4)

etkisini incelemişlerdir. Aljinat konsantrasyonu arttıkça bakterinin gastrointestinal koşullara dayanımının arttığı ve canlılık üzerinde olumlu etkisi olduğu saptanmıştır.

Heidebach ve ark. [39], *Lactobacillus paracasei* ssp. *paracasei* F19 ve *Bifidobacterium lactis* Bb12 probiyotik bakterileri bir süt proteini olan rennet ile enkapsüle etmişlerdir. İnkübasyondan 90 dakika sonra düşük pH değerlerinde (pH=2.5), enkapsüle edilen edilen probiyotik hücrelerin sayıları kapsüllenmeyen hücrelere göre daha fazla sayıda olduğu tespit edilmiştir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Mikroenkapsülasyon, kontrollü üretim sistemleri için gıda sektöründe karşılaşılan önemli problemlerin çözümünde kullanılabilecek alternatif bir yöntemdir. Burada önemli olan uygun mikroenkapsülasyon tekniği ve kaplama materyalini seçmektir. Eczacılık ve kozmetik endüstrilerinde mikroenkapsüle edilen ürünler geniş bir yelpaze aralığına sahip olmasına rağmen, gıda sektöründe nispeten daha küçük bir pazar bulmuştur. Fakat son yıllarda gıda endüstrisinde de geniş alanlarda kullanılmaya başlanmış ve bu kullanımda son yıllarda geliştirilen gıda formülasyonlarının payının büyük olduğu bildirilmiştir.

Günümüzde süt endüstrisinde özellikle de peynir teknolojilerinde gerçekleştirilen uygulamalarda büyük başarılar elde edilmiştir. Bu başarılar arasında, peynirlerin hızlı olgunlaştırılması sonucunda daha ekonomik ve daha verimli ürün eldesi söz konusu olmuştur. Buna bağlı olarak süt endüstrisinde dondurma ve dondurulmuş ürünlerin üretiminde de, daha geniş yelpazede tat ve aroma eldesi sağlanmıştır. Mikroenkapsülasyon tekniğinin uygulanmasının ekonomik fizibilitesinin de, sınırlı olduğu ve büyük yatırımlar gerektirmediği bildirilmektedir.

Elde edilen tüm bu başarılar neticesinde, tüketiciye daha besleyici, güvenilir, raf ömrü uzun olan ürünler sunabilmek mümkün olmuştur. Mikroenkapsülasyon tekniğinin gıda endüstrisinde gelecek için büyük bir potansiyel oluşturulduğu düşünülmekte ve ülkemizde de bu gelişmelerin elde edilmesi ve daha geniş kapsamlı araştırmaların yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Desai, K., Park, H. J., 2005. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. *Drying Technology* 23: 1361–1394.
- [2] Kuang, S. S., Oliveira, J. C., Crean, A. M., 2010. Microencapsulation as a tool for incorporating bioactive ingredients into food. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 50: 951–968.
- [3] Kınık, Ö., Kavas, G., Yılmaz, E., 2003. Mikroenkapsülasyon tekniği ve süt teknolojilerindeki kullanım olanakları. *Gıda* 28 (4): 401–407.
- [4] Koç, M., Sakin, M., Ertekin, F., 2009. Mikroenkapsülasyon ve gıda teknolojilerinde kullanımı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 16 (1): 77–86.

- [5] Mol, S., 2008. Balık yağı tüketimi ve insan sağlığı üzerine etkileri. *Journal of Fisheries Sciences* 2(4): 601–607.
- [6] Drusch, S., Mannino, S., 2009. Patent-based review on industrial approaches for the microencapsulation of oils rich in polyunsaturated fatty acids. *Trends in Food Science & Technology* 20: 237-244.
- [7] Jankowski, T., Zielinska, M., & Wysakowska, A., 1997. Encapsulation of lactic acid bacteria with alginate/starch capsules. *Biotechnology Techniques* 11(1): 31–34.
- [8] Dickinson, E., 2003. Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. *Food Hydrocolloid* (17): 25–39
- [9] Chan, E. S., Zhang, Z., 2002. Encapsulation of probiotic bacteria *Lactobacillus acidophilus* by direct compression. *Institution of Chemical Engineers Trans IChemE* 80 (part C):78-82
- [10] Bruschi, M. L., Cardoso, M. L. C., Lucchesi, M. B., Gremiao, M. P. D., 2003. Gelatin microparticles containing propolis obtained by spray-drying technique: preparation and characterization. *International Journal of Pharmaceutics* 264: 45–55.
- [11] Young S. L., Sarda, X., Rosenberg, M., 1993. Microencapsulating properties of whey proteins. 1. Microencapsulation of anhydrous milk fat. *Journal of Dairy Science* 76 (10): 2868- 2877.
- [12] Gharsalloui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., Saurel, R., 2007. Application of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International* (40): 1107–1121
- [13] Bhandari, B. R., Dumoulin, E. D., Richard, H. M. J., Noleau, I., Lebert, A. M., 1992. Flavor encapsulation by spray drying: Application to citral and linalyl acetate. *Journal of Food Science* 57: 217–221.
- [14] Klinkesorn, U., Sophanodora, P., Chinachoti, P., McClements, D., Decker, E. A., 2005. Stability of spray-dried tuna oil emulsion encapsulated with two-layered interfacial membranes. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* (53), 8365–8371
- [15] Shu, B., Yu, W., Zhao, Y., Liu, X., 2006. Study on microencapsulation of lycopene by spray-drying. *Journal of Food Engineering* 76 (4): 664-669.
- [16] Ersus, S., Yurdagel, Ü., 2007. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota* L.) by spray drier. *Journal of Food Engineering* 80: 805–812
- [17] Koç, M., Met, A., Sakin, M., Kaymak-Ertekin, F., 2008. Balık yağının dondurarak kurutma yöntemiyle mikroenkapsüle edilmesi. Türkiye 10. Gıda Kongresi, Mayıs 21-23, 2008, Erzurum
- [18] Kaushik, V., Roos, Y. H., 2006. Limonene encapsulation in freeze-drying of gum arabic–sucrose–gelatin systems. *LWT-Food Science and Technology* 40: 1381–1391.
- [19] Heinzelmann, K., Franke, K., Jensen, B., Haahr, A., 2000. Protection of fish oil from oxidation by microencapsulation using freeze-drying techniques. *European Journal of Lipid Science and Technology* 102 (2): 114–121.
- [20] Gouin, S., 2004. Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends in Food Science Technolog*, 15: 330–347.
- [21] Mendanha, D. V., Ortiz, S.E., Favaro-Trindade, C. S., Mauri, A., Monterrey-Quintero, E. S., Thomazini, M., 2009. Microencapsulation of casein hydrolysate by complex coacervation with SPI/pectin. *Food Research International* 42: 1099–1104.
- [22] Fang, Z., Bhandari, B., 2010. Encapsulation of polyphenols a review. *Trends in Food Science Technology* 21: 510–523.
- [23] Gomez-Hens, A., Fernandez-Romero, J.M., 2006. Analytical methods for the control of liposomal delivery systems. *Trends in Analytical Chemistry* 25 (2):167:178.
- [24] Alkhalaf, W., El Soda, M., Gripon, J-C., Vassal, I., 1989. Acceleration of cheese ripening with liposomes-entrapped proteinase: influence of liposomes net charge. *Journal Dairy Science* 72:2233–2238
- [25] Bulduk, S., 2006. Gıda Teknolojisi. 3. baskı, Detay Yayıncılık, Kalemkar Ofset Matbaası, Ankara, 115:372 p.
- [26] Çağlar, A., Çakmakçı, S., 1998. Kaşar peynirinin hızlı olgunlaştırılmasında proteaz ve lipaz enzimlerinin farklı metotlarla kullanımı 1: Peynirlerin fiziksel ve kimyasal Özellikleri. *Gıda* 23 (4): 291–301.
- [27] Özer, B., Kırmacı, H. A., Şenel, E., Atamer, M., Hayaloğlu, A., 2009. Improving the viability of *Bifidobacterium bifidum* BB-12 and *Lactobacillus acidophilus* LA-5 in white-brined cheese by microencapsulation. *International Dairy Journal* 19: 22–29.
- [28] Azarnia, S., Lee, B.H., St-Gelais, D., Champagne, C.P., 2008, Enhancement of proteolysis and flavours in cheddar cheese using encapsulated recombinant aminopeptidase of *Lactobacillus rhamnosus* S93, 5th IDF Symposium on cheese ripening, March 9-13, 2008, Bern, Switzerland.
- [29] Homayouni, A., Azizi, A., Ehsani, M. R., Yarmand, M. S., Razavi, S. H., 2008. Effect of microencapsulation and resistant starch on the probiotic survival and sensory properties of symbiotic ice-cream. *Food Chemistry* 111(1): 50–55.
- [30] Sheu, T. Y., Marshall, R. T., & Heymann, H., 1993. Improving survival of culture bacteria in frozen desserts by microentrapment. *Journal of Dairy Science* 76, 1902–1907.
- [31] Çakır, İ., 2006. Mikroenkapsülasyon tekniğinin probiyotik gıda üretiminde kullanımı. Türkiye 9. Gıda Kongresi, Mayıs 24–26, 2006, Bolu.
- [32] Ünal, E., Erginkaya, Z., 2010. Probiyotik mikroorganizmaların mikroenkapsülasyonu. *Gıda* 35 (4): 297-304
- [33] Picot, A., Lacroix, C., 2004. Encapsulation of bifidobacteria in whey protein-based microcapsules and survival in simulated gastrointestinal conditions and in yoghurt. *International Dairy Journal* 14: 505–515.
- [34] Kailasapathy, K., 2002. Microencapsulation of probiotic bacteria: technology and potential

- applications. *Current Issues in Intest Microbiology* 3(2): 39–48.
- [35] Özer, B., 2006. Yoğurt Bilimi ve Teknolojisi. Yoğurt Türevi Fermente Süt Ürünleri, Sidas Medya Yayınları, Toprak Ofset Matbaası, Şanlıurfa, 296–380, 488 p
- [36] Guerin, D., Vuillemand, J. C., Subirade, M., 2003. Protection of bifidobacteria encapsulated in polysaccharide-protein gel beads against gastric juice and bile. *Journal of Food Protection* 66: 2076–2084.
- [37] Chen, K. N., Chen, M.J., Lin, C.W., 2006. Optimal combination of the encapsulating materials for probiotic microcapsules and its experimental verification (R1). *Journal Food Engineering* 76: 313–320.
- [38] Mandal, S., Puniya A. K., Singh, K., 2006. Effect of alginate concentrations on survival of microencapsulated *Lactobacillus casei* NCDC-298. *International Dairy Journal*, 16: 1190–1195.
- [39] Heidebach, T., Först, P., Kulozik, U., 2009. Microencapsulation of probiotic cells by means of rennet-gelation of milk proteins. *Food Hydrocolloids* 23: 1670–1677.
-