

Mikroenkapsülasyon ve Gıda Teknolojisinde Kullanımı

Microencapsulation and its Applications in Food Technology

Mehmet KOÇ, Melike SAKİN* ve Figen KAYMAK-ERTEKİN

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 35100, İzmir

Geliş Tarihi/Received : 05.06.2009, Kabul Tarihi/Accepted : 11.09.2009

ÖZET

Mikroenkapsülasyon aktif bir maddenin çevresinin bir veya daha fazla kaplama maddesi ile sarılıp kaplanmasını sağlayan bir teknolojidir. Enkapsülasyon teknolojisi günümüzde farmakoloji, kimya, kozmetik, gıda ve boya gibi farklı birçok sektörde kullanılmaktadır. Mikroenkapsülasyon tekniği, gıda sektöründe genellikle, sıvı damlacıkların, katı partiküllerin veya gaz bileşenlerinin gıda saflığında kaplama materyalleri ile kaplanması için ürünlerin fonksiyonel özelliklerini geliştirmek ve raf ömürlerini artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Gıda ürünleri içerisinde çoğunlukla katı ve sıvı yağlar, aroma bileşenleri, vitaminler, mineraller, renk bileşenleri ve enzimler mikroenkapsüle edilmektedir. Kaplama materyali olarak ise çoğunlukla nişasta, maltodekstrin, pullulan, sakkaroz, maltoz gibi karbonhidratlar, jelatin, peynir altı suyu proteinleri, kazein ve kazeinatlar gibi proteinler ve gam arabik gibi gamlar kullanılmaktadır. Bu derlemede, mikroenkapsülasyon teknolojisi, kullanılan kaplama materyalleri ve gıda endüstrisinde kullanımı hakkında bilgi sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler : *Mikroenkapsülasyon, Gıda bileşenleri, Kaplama materyali, Mikroenkapsülasyon yöntemleri.*

ABSTRACT

Microencapsulation is a technology used to cover an active core with one or few capsulating materials. This technology is used in different industries such as pharmacology, chemistry, cosmetics, food and dye. Microencapsulation technique in food industry, generally, is utilised to improve the functional properties and to increase the shelf life of foods by capsulating the liquid droplets, solid particles and gas components with food grade coating materials. Mostly microencapsulated foods or food constituents are solid and liquid fats, aroma components, vitamins, minerals, coloring compounds and enzymes. Capsulating materials mostly used are starch, maltodextrin, pullulan, sucrose, maltose in carbohydrate structure; gelatin, whey proteins, casein and caseinates in protein structure and some gums like gum arabic. This review cover the subjects about microencapsulation technology, the capsulating materials and their use in food industry.

Keywords : *Microencapsulation, Food components, Coating material, Microencapsulation techniques.*

1. GİRİŞ

Enkapsülasyon; bir maddenin veya karışımın başka bir madde veya sistem ile kaplanması veya hapsedilmesi olarak tanımlanmaktadır (Madene v.d., 2006). Mikroenkapsülasyon ise aktif bir maddenin (çekirdek materyal) çevresinin bir veya daha fazla kaplama maddesi (duvar materyali) ile sarılıp mikrometre ile milimetre aralığında büyüklüğe sahip kapsüllerin (mikrokapsül) elde edilmesinde kullanılan bir teknolojidir. Mikrokapsüller basitçe küre şeklinde olup çevresinde homojen bir duvar yer almaktadır. Mikrokapsül içerisinde yer alan madde veya karışım çekirdek, iç faz veya dolgu

olarak ifade edilirken dış kısımda yer alan duvar ise kabuk, kaplama, duvar materyali veya membran olarak isimlendirilmektedir (Gharsallaoui v.d., 2007). Mikrokapsüllerin görünüşleri çekirdek materyalinin fiziko-kimyasal özelliklerine, duvar materyalinin kompozisyonuna ve mikroenkapsülasyon tekniğine göre değişim göstermektedir.

Mikroenkapsülasyon ürünlerinin ortaya çıkışı 1950'lerde, basınca duyarlı karbonsuz kopya kağıdı üretilmesi yönünde gerçekleştirilen araştırmalar sonucunda başlamıştır (Green ve Scheicher, 1955). Enkapsülasyon teknolojisi günümüzde farmakoloji, kimya, kozmetik, gıda ve boya gibi farklı birçok

* Yazışılan yazar/Corresponding author. E-posta adresi/E-mail address : melike.sakin@ege.edu.tr (M. Sakin)

sektörde kullanılmaktadır (Augustin v.d., 2001; Heinzen, 2002). Mikroenkapsülasyon teknolojisinin gıda endüstrisinde kullanılması da oldukça eskiye dayanmaktadır. Özellikle son yıllarda fonksiyonel gıdaların öneminin giderek artması sonucunda mikroenkapsülasyon işlemi gıda sektörü için daha çok anlam kazanmıştır (Kunz v.d., 2003). Mikroenkapsülasyon tekniği, gıda sektöründe genellikle, sıvı damlacıkların, katı partiküllerin veya gaz bileşenlerin gıda saflığında kaplama materyalleri ile kaplanması için kullanılmaktadır (Gharsallaoui v.d., 2007). Gıda ürünleri içerisinde çoğunlukla katı ve sıvı yağlar, aroma bileşenleri, vitaminler, mineraller, renk bileşenleri ve enzimler mikroenkapsülenmişlerdir.

Mikroenkapsülasyon teknolojisinin gıda endüstrisinde kullanım amaçları kaplanacak maddenin dış etkenlere karşı korunması (nem, sıcaklık, hava ve ışık gibi); buharlaşarak kaybolmasının önlenmesi; fiziksel özelliklerinin daha iyi korunması; maddenin kaplanmasıyla taşınmasının kolaylaştırılması; doğru yerde ve doğru zamanda çalışmasının sağlanması; kaplanacak maddenin tat ve kokusunun maskelenmesi; başka bileşenlerle reaksiyona girmesinin önlenmesi; küçük miktarlarda kullanımı istendiğinde seyreltilebilmesi ve seyreltmenin homojen bir halde sağlanması şeklinde sıralanabilir (Desai ve Park, 2005).

Bu derlemede, gıda maddelerinin mikroenkapsülasyonunda kullanılan karbonhidrat, protein ve gam esaslı kaplama materyalleri; uygulanan püskürtmeli kurutma, dondurarak kurutma, püskürtmeli soğutma, akışkan yatak kaplama, ekstrüzyon, koaservasyon, kokristalizasyon ve lipozom tutuklama gibi mikroenkapsülasyon teknikleri ve mikroenkapsülasyon teknolojisinin gıda endüstrisinde kullanım alanları hakkında bilgi sunulmaktadır.

2. KAPLAMA MATERYALLERİ

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

1. Yüksek konsantrasyonda reolojik özellikleri iyi olmalı ve kapsülleme işlemi esnasında kolay işlenebilmelidir.
2. Emülsiyon ve dispersiyon özelliği olmalıdır ve ayrıca emülsiyon stabilitesi yüksek olmalıdır.
3. Çekirdek materyali ile kaplama işlemi esnasında ve depolama sırasında çekirdek materyalin özelliğini bozacak şekilde reaksiyona girmemelidir.
4. Çekirdek materyalini kaplayabilmeli ve bunu stabil bir şekilde hem işlem esnasında hem de depolama esnasında korumalıdır.

5. İstenilen çözümlenmede çözünebilmelidir.
6. Ucuz olmalıdır.

Yukarıda belirtilen özellikleri tek bir kaplama materyalinin sağlaması çok zordur. Bu sebeple farklı kaplama materyallerinin bir arada kullanılması önerilir. Bunun yanı sıra fiziksel ve mekaniksel özellikleri daha iyi olan modifiye kaplama materyalleri de (örnek; modifiye selüloz) mevcuttur. (Desai ve Park, 2005). Mikroenkapsülasyon işleminde genellikle nişasta, maltodekstrin, pullulan, sakkaroz, maltoz gibi karbonhidratlar; jelatin, peynir altı suyu proteinleri, kazein ve kazeinatlar gibi proteinler ve gam arabik gibi gıdalar kaplama materyali olarak tercih edilmektedir.

2. 1. Karbonhidratlar

Karbonhidratlar genellikle püskürtmeli kurutma yöntemi ile gerçekleştirilen mikroenkapsülasyon işleminde kaplama materyali veya taşıyıcı olarak kullanılmaktadır (Reineccius, 1991; Kenyon, 1995; McNamee v.d., 1998). Karbonhidratlar küresel ve pürüzsüz mikrokapsül oluşumuna sebep olmanın yanında kaplama materyali ile çekirdek materyalinin arasındaki yapışma kuvvetini arttırır (Bruschi v.d., 2003). Mikroenkapsülasyon işleminde genellikle nişasta, maltodekstrin ve mısırşurubu tozu gibi karbonhidratlar tercih edilmektedir (DeZarn, 1995; Kenyon, 1995). Yüksek konsantrasyonlarda bile düşük viskoziteye sahip olmaları ve çözünürlüklerinin iyi olması dolayısı ile bu materyaller iyi kaplama materyalleridir. Ayrıca ucuz olmaları ve gıdalarda yaygın bir şekilde kullanılmalarından ötürü de kaplama materyali olarak tercih edilirler (Dziezak, 1998; Mutka ve Nelson, 1988). Fakat emülsifiye edici özelliklerinin olmaması veya düşük olması sebebi ile mikroenkapsülasyon işleminde tek başlarına kullanılmalarından ziyade proteinlerle birlikte kullanımları daha yaygındır. Nişasta; gıda endüstrisinde uçucu bileşenleri korumak ve sızdırmazlık sağlamak için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı oksidasyondan kolaylıkla etkilenen ve uçucu bileşiklerce zengin çekirdek materyallerinin mikroenkapsülasyonunda kaplama materyali olarak tercih edilmektedir (Golovnya v.d., 1998; Glenn ve Stern, 1999; Thomas ve Atwell, 1999; Drusch ve Schwarz, 2006). Pullulan; kuvvetli film oluşturarak oksijen geçirgenliğini azaltmaktadır (Yuen, 1974; Deshpande v.d., 1992). Oksidasyona karşı duyarlı olan bileşiklerin mikroenkapsülasyonunda kaplama materyali olarak kullanılabilir. Pullulan birkaç çalışmada kaplama materyali olarak kullanılmıştır. Enkapsüle edilmiş safran karatenoidlerinin bozunma kinetiğinin incelendiği bir çalışmada, pullulan kaplama materyallerinden biri olarak tercih edilmiştir (Selim v.d., 2000). Ayrıca, tek damla kurutma (single-droplet drying) metoduyla su/yağ/ su tipi mikroenkapsüllerin hazırlanması ve hidrofilik

materyallerin depolama sırasında enkapsülasyon verimindeki değişimin incelenmesi konulu bir çalışmada (Adachi v.d., 2003), pullulan kaplama materyallerinden biri olarak tercih edilmiştir. Bu çalışmada, pullulanın sağladığı mikroenkapsülasyon veriminin ~% 95 olduğu belirtilmiştir. Sakkaroz, maltoz, glukoz, laktoz; uçucu bileşiklerin kaplanması için kullanılmaktadır. Oluşturdukları yüzey membranlarının geçirgenlikleri, düşük nem içeriklerinde çok azdır. Yani difüzyona karşı oldukça dirençlidirler (Mentig ve Hoogstad, 1967; Flink ve Karel, 1970). Laktozun kaplama materyali olarak tercih edildiği çalışmalar mevcuttur. Yapılan bir çalışmada (Rosenberg ve Sheu, 1996), etil butirat ve etil kaprilat uçucu bileşiklerinin, peynir altı suyu proteini esaslı kaplama materyali ve laktoz karışımı kullanılarak püskürtmeli kurutma yöntemi ile mikroenkapsülasyonu incelenmiştir. Bu çalışmada; uçucu bileşiklerin (etil butirat ve etil kaprilat) korunmasının, laktoz ve peynir altı suyu proteininin bir arada kullanıldığı mikroenkapsülasyon işleminde, peynir altı suyu proteininin tek başına kullanıldığı duruma göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Sumak aromasının püskürtmeli kurutma yöntemi ile mikroenkapsülasyonunda sakkaroz, glukoz ve nişasta kaplama materyali olarak tercih edilmiştir. Fakat, bu kaplama materyallerinin karamelizasyon özelliklerinden dolayı, elde edilen ürünün kurutucu yüzeyine yapıştığı, aynı zamanda püskürtme başlığında da tıkanmaya sebep olduğu belirtilmiştir (Bayram v.d., 2005). Zeytinyağının dondurarak kurutma yöntemi ile mikroenkapsülasyonunda farklı homojenizasyon hızlarının etkisi incelenmiş, bu çalışmada (Kaushik ve Roos, 2005); karbonhidratlar (maltoz, laktoz ve sakkaroz) ve jelatin kaplama materyali olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada, mikroenkapsülasyon veriminin en yüksek olduğu, bir başka deyişle, kaplanmamış zeytinyağı oranının en düşük olduğu mikroenkapsülasyon işlemi, ağırlıkça % 20 laktoz ve % 80 jelatinin kaplama materyali olarak kullanıldığı işlem olmuştur. Maltodekstrin; mısır nişastasının asidik veya enzimatik yöntemle, kısmi hidrolizi sonucunda elde edilen ve dekstroz eşdeğer ağırlığı (dextrose equivalent DE) 20 veya 20'den küçük olan bir maddedir (Madene v.d., 2006). Yüksek sıcaklıkta (100 °C) ve pH 4.00–5.00 koşullarında nişasta α -amilaz ünitelerine parçalanır ve işlemin sonucunda maltodekstrin ve mısır şurubu elde edilir (Kaçar ve Şahan, 2004). Düşük DE değerine sahip maltodekstrinler bazı gıdalarda (dondurma gibi) yağ ikamesi olarak kullanılmaktadır. Maltodekstrinler yüzey aktif bileşikler olup çözeltileri düşük viskoziteye sahiptir. Fakat emülsifiye edici ajan olarak kullanılması önerilmemektedir. Maltodekstrinler katı ve sıvı yağların, vitaminlerin, minerallerin ve renk maddelerinin mikroenkapsülasyonu işleminde Maillard reaksiyonunun hızını düşürmektedir. Mikroenkapsülasyon işleminde maltodekstrinler

emülsifiye edici özelliklerinin az olması sebebiyle genellikle yardımcı kaplama materyali olarak kullanılmaktadır (McNamee v.d., 1998; Pedersen v.d., 1998; Hogan v.d., 2001; Christensen v.d., 2001). Maltodekstrinler mikroenkapsüle edilmiş yağlarda iyi bir oksidatif stabilite sağlamaktadırlar.

2. 2. Gamlar

Gamlar ve kıvam artırıcılar her ne kadar tatsız olsalar da gıdaların tatlarına ve lezzetine doğrudan etki etmektedir. Genellikle hidrokolloidler viskozitelerinden ve difüzyonu engellemelerinden dolayı tatlılığın azalmasına sebep olurlar (Godshall, 1997). Gamlar arasında, gam arabik olarak da isimlendirilen akasya gamının, emülsifiye edici özelliğinin mükemmel olması sebebiyle kullanım alanı çok yaygındır. Gam arabik D-glukronik asid, L-ramnoz, D-galaktoz ve L-arabinoz ile yaklaşık olarak % 2 protein içeren bir polimerdir. Gam arabığın emülsifiye edici özelliği yapısında bulunan proteinlerle ilişkilidir (Dickinson, 2003). Yüksek çözünürlüğü, düşük viskozitesi, emülsifiye edici olması ve uçucu bileşenlerin tutulumunu iyi bir şekilde sağlamasından dolayı mikroenkapsülasyon işleminde kaplama materyali olarak kullanımı yaygındır (Madene v.d., 2006). Kakule oleoresininin enkapsülasyonunun gerçekleştirildiği bir çalışmada Gam arabığın maltodekstrine ve modifiye nişastaya göre daha iyi bir kaplama materyali olduğu belirtilmiştir (Krishnan v.d., 2005). Başka bir çalışmada ise kimyon oleoresininin püskürtmeli kurutma yöntemi ile enkapsülasyonu işleminde gam arabığın iyi bir kaplama materyali özelliği sergilediği ortaya konmuştur (Kanakdande v.d., 2007). Yağların enkapsülasyonunda gam arabığın kullanımı çok yaygındır. Bunun sebebi, gam arabığın geniş bir pH aralığında farklı birçok yağ ile stabil bir emülsiyon oluşturabilmesidir (Kenyon, 1995).

Kullanılan gam arabığın % 50'si yerine glukozun kullanıldığı soya yağının mikroenkapsülasyonu işleminde, mikroenkapsülasyon verimi % 74'den % 92'ye çıkmıştır (McNamee v.d., 2001). Fakat, başka bir çalışmada ise 5 farklı monoterpenin (citral, linalool, β -myrcene, limonene ve β -pinene) enkapsülasyonunda kaplama materyali olarak tercih edilen gam arabik etkin bir özellik gösterememiştir (Bertolini v.d., 2001). Gam arabik ile oluşan membranın yarı geçirgen oluşu oksidasyona karşı direnci ancak belirli bir ölçüde sınırlamaktadır. Dolayısıyla oksijen geçişi söz konusu olmakta ve çekirdek materyalin raf ömrü doğrudan olumsuz yönde etkilenmektedir. Ayrıca, fiyatının yüksek olması sebebiyle de gam arabığın gıda endüstrisinde kullanımı sınırlanmaktadır. Bu sebeple, bu materyale alternatif olabilecek olan kaplama materyalleri için çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bunlardan bir tanesi olan Mesquite gam'ın çok iyi bir enkapsülasyon ajanı olduğu bildirilmiştir. Bir çalışmada % 60 gam

arabik ve % 40 Mesquite gam karışımının portakal kabuğu yağının % 93,5'ini enkapsüle ettiği ortaya konmuştur (Beristain ve Vernon-Carter, 1994). Daha yakın dönemde, gerçekleştirilen bir çalışmada % 40 Mesquite gam ve % 60 maltodekstrin karışımının kakule yağının % 84,6'sını enkapsüle edebileceği gösterilmiştir (Beristain v.d., 2001). Kakule bazlı yağ mikrokapsüllerinin, Mesquite gam kullanılarak püskürtmeli kurutucuda başarıyla üretilmesi, bu materyalin önemli bir alternatif kaplama maddesi olduğunu ortaya koymuştur.

2. 3. Proteinler

Proteinler sahip oldukları fonksiyonel özelliklerinden dolayı mikrokapsülasyon işlemi için iyi kaplama materyalleridir. Proteinler özellikle lezzet bileşenlerinin bağlanmasında oldukça iyidirler (Landy v.d., 1995). Genellikle mikrokapsülasyon işleminde kaplama materyali olarak jelatin, peynir altı suyu proteinleri, kazein ve kazeinatlar protein olarak tercih edilmektedir. Jelatin; iyi emülsiyon özelliği ve film oluşturma etkisi göstermesi, suda çözünürlüğünün yüksek ve yenilebilir olması sebebiyle püskürtmek kurutma yöntemi ile mikrokapsülasyon için iyi bir kaplama materyalidir. Jelatin mikropartiküllerinin yukarıda belirtilen özellikleri ve morfolojileri şeker alkolü olan mannitolun eklenmesiyle daha da geliştirilebilir (Bruschi v.d., 2003). Limonenin dondurarak kurutma yöntemi ile mikrokapsülasyonunda (Kaushik ve Roos, 2006), püskürtmek kurutma yöntemi ile fosfolipit mikrokapsülasyonunda (Caiyuan v.d., 2007), likopenin mikrokapsülasyonunda (Chiu v.d., 2007) ve balık yağının mikrokapsülasyonunda (Curtis v.d., 2008) jelatin kaplama materyali olarak tercih edilmiştir. Yağsız süttten kazein herhangi bir yolla uzaklaştırıldığında, geriye kalan kısma süt serumu denir ve içerisinde % 0,7 oranında protein bulunur. Süt serumu içerisinde, pek çok fraksiyondan oluşan ve süt proteinlerinin yaklaşık % 20'lik bölümünü oluşturan bu proteinlere serum proteinleri veya peynir üretimi esnasında peynir suyunda kaldıkları için Peynir altı suyu proteinleri adı verilir (Üçüncü, 2004). Peynir altı suyu proteinleri mükemmel bir emülsifiye edici ajandır (Keogh ve O'Kennedy, 1999).

Peynir altı suyu proteinlerinin enkapsülasyon işleminde kaplama materyali olarak kullanılması 1990'lı yıllara dayanmaktadır (Moreau ve Rosenberg, 1993; Young v.d., 1993). Peynir altı suyu proteinleri bir çalışmada süt yağının enkapsülasyonunda kaplama materyali olarak tercih edilmiş olup yaklaşık olarak % 90'lik enkapsülasyon verimi sağlamıştır (Young v.d., 1993). Aynı araştırmacılara göre, kaplama materyali olarak kullanılan peynir altı suyu proteinlerinin %50'si yerine laktoz kullanımı sonucunda mikrokapsülasyon veriminin artacağı bildirilmiştir. Portakal yağının mikrokapsülasyonunda kaplama

materyali olarak tercih edilen peynir altı suyu proteinlerinin oksidasyona karşı mükemmel bir bariyer oluşturduğu tespit edilmiştir (Kim ve Morr, 1996). Peynir altı suyu proteinlerinin enkapsüle etme özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada, soya yağının enkapsülasyonunda sodyum kazeinata göre daha düşük bir oranda enkapsülasyon sağladığı ortaya koyulmuştur (Faltdt ve Bergenstahl, 1996).

Peynir altı suyu proteinlerinin kaplama materyali olarak en büyük dezavantajı sıcaklığa karşı çok duyarlı olmalarıdır (Sliwinski v.d., 2003). Doğada sadece sütte bulunan kazein, süt proteinlerinin en önemli fraksiyonu olup yaklaşık %80'ini oluşturur (Üçüncü, 2005). Sodyum kazeinatın enkapsülasyon işleminde kaplama materyali olarak kullanıldığı birçok çalışma mevcuttur. Kazein ve kazeinatlar, sıcaklığa karşı peynir altı suyu proteinlerine göre daha duyarlıdır. Fakat yüksek yüzey aktif özelliğe sahip olmalarından dolayı püskürtmeli kurutma yöntemi de dahil olmak üzere birçok uygulamada emülsifiye edici ajan olarak kullanıldığı belirtilmektedir (Pedersen v.d., 1998; Hogan v.d., 2001; Sliwinski v.d., 2003). Soya yağının mikrokapsülasyonunda sodyum kazeinatın, peynir altı suyu proteinlerinden daha iyi bir kaplama materyali olduğu, sağlamış olduğu yüksek mikrokapsülasyon verimi ile gösterilmiştir (Faltdt ve Bergenstahl, 1996). Bu sonuç, başka araştırmacılar tarafından da doğrulanmıştır (Young v.d., 1993).

3. MİKROENKAPSULASYON TEKNİKLERİ

Gıda bileşenlerinin çekirdek materyal olarak kullanılıp kaplama materyalleri içerisinde enkapsülasyonu işleminde birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. Mikrokapsülasyon yönteminin seçilmesi esnasında, çekirdek ve kaplama materyallerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin ve kaplanacak olan gıda bileşeninin kullanılacağı yerin büyük önemi vardır. Tablo 1'de gıdaların kaplanmasında kullanılan mikrokapsülasyon teknikleri ve seçilen tekniğe göre temel işlem basamakları verilmektedir.

Modifiye kaplama materyallerinin ve yeni teknolojilerin ortaya çıkması ile birlikte günümüzde fonksiyonelliği çok yüksek mikrokapsüle gıdalar elde edilebilmektedir. Enkapsüle edilmiş bileşenlerin açığa çıkması pH değiştirme, mekaniksel kuvvet, sıcaklık, enzimatik aktivite, zaman, ozmotik kuvvet gibi tetikleyici faktörlerle başlamaktadır. Gıda endüstrisinde gerçekleştirilen enkapsülasyon işlemlerinde maliyet, farmokoloji veya kozmetik endüstrisine göre daha büyük önem arz etmektedir (Desai ve Park, 2005). Kullanılacak olan kaplama materyallerinin ve mikrokapsülasyon yönteminin seçimi ayrı ayrı düşünülemez.

Tablo 1. Farklı mikroenkapsülasyon teknikleri ve her teknikte kullanılan işlem basamakları (Desai ve Park, 2005).

Mikroenkapsülasyon Tekniği	
Püskürtmeli kurutma	
a)	Dispersiyon hazırlama
b)	Dispersiyonun homojenizasyonu
c)	Beslenen dispersiyonun atomizasyonu
d)	Atomize parçacıkların kurutulması
Püskürtmeli dondurma	
a)	Dispersiyon hazırlama
b)	Dispersiyonun homojenizasyonu
c)	Beslenen dispersiyonun atomizasyonu
Akışkan yatakta kaplama	
a)	Kaplama sıvısının hazırlanması
b)	Kaplanacak olan maddenin akışkanlaştırılması
c)	Kaplanacak olan maddenin kaplanması
Ekstrüzyon	
a)	Eritilmiş kaplama sıvısının hazırlanması
b)	Erimiş polimerlere kaplanacak maddenin dispersiyonu
c)	Kaplama maddesi-kaplanacak madde dispersiyonunun soğutulması veya dehidrate edici sıvı içerisinde geçirilmesi
Dondurarak kurutma	
a)	Kaplanacak madde karışımının kaplama sıvısı içerisine karıştırılması
b)	Karışımın dondurularak kurutulması
Koazervasyon (birlikte faz oluşturma)	
a)	Birbirine karışmayan üçlü kimyasal sıvı fazının oluşturulması
b)	Kaplanmış materyalin dinlendirilmesi
c)	Kaplanmış materyalin katılaştırılması
Kokristalizasyon	
a)	Süper doymuş sakkaroz sıvısının hazırlanması
b)	Kaplama materyalinin süper doymuş sıvıya eklenmesi
c)	Sıvının, sakkarozun kristalizasyon sıcaklığına ulaşması ile gerekli ısının emilimi

3. 1. Püskürtmeli Kurutma Yöntemi

Püskürtmeli kurutma işlemi sıvıların çok kısa bir süre içerisinde toz ürüne dönüştürülmesinde kullanılan bir kurutma yöntemidir. Kurutma işlemi esnasında taşıyıcı gaz olarak genellikle hava veya nadiren de olsa inert gaz olan azot kullanılmaktadır (Gharsallaoui v.d., 2007).

Püskürtmeli kurutma yönteminde sıvı ürün atomizör yardımı ile çok küçük damlacıklar halinde sıcak hava ortamına verilir. Yapıdaki su yüksek buharlaşma hızından dolayı kısa süre içerisinde üründen uzaklaşır. Ürün, uygulanan yüksek kurutma sıcaklıklarına rağmen kuruma süresinin kısa olması ve ürünün teorik olarak yaş termometre sıcaklığını aşmamasından dolayı zarar görmemektedir. Püskürtmeli kurutma yöntemi ile enkapsülasyon gıda endüstrisinde gıda bileşenlerinin (yağlar, aroma maddeleri, v.b.) kaplanmasında ve sıvı ürünlerin toz formuna dönüştürülmesinde kullanılan en eski yöntemlerden birisidir.

Günümüzde gıdaların mikroenkapsülasyonunda püskürtmeli kurutma yöntemi en çok tercih edilen ve en ucuz olan yöntemdir (Desai ve Park, 2005). Bu yöntemle mikroenkapsüle edilmiş ürünlerin üretim maliyeti diğer birçokyönteme göre oldukça düşüktür. Dondurarak kurutma yöntemi ile kıyaslandığında püskürtmeli kurutma yönteminin 30 ile 50 kat arasında daha ucuz olduğu görülmektedir (Desobry v.d., 1997). Ancak, püskürtmeli kurutma işleminde ortaya çıkan yüksek enerjinin tümü kullanılmamakta ve enerji israfı ortaya çıkmaktadır. Shahidi ve Han (1993)'e göre püskürtmeli kurutma yöntemi ile mikroenkapsülasyon işleminde 4 temel aşama bulunmaktadır. Bunlar dispersiyon veya emülsiyon hazırlama, dispersiyonun homojenizasyonu, atomizasyon ve kurutmadır. Püskürterek kurutma yöntemi ile mikroenkapsülasyon işleminde; gıda saflığında, yenilebilir, doğal, ucuz olan ve gıda bileşenleri ile reaksiyona girerek ürünün asıl özelliklerini değiştirmeyen, kokusuz, tatsız kaplama materyalleri olan karbonhidratlar (maltodekstrinler, kitosan, dekstroz, laktoz, pullulan v.b.), selülozlar (karboksimetilselüloz, metilselüloz, etilselüloz vb.),gamlar (akasya gamı, agar, sodyum aljinat), proteinler (gluten, kazein, jelatin) kullanılabilirler (Gharsallaoui v.d., 2007). Tablo 2'de püskürtmeli kurutma yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen bazı mikroenkapsülasyon çalışmalarına yer verilmiştir.

3. 2. Dondurarak Kurutma Yöntemi

Dondurarak kurutma işlemi ürünün dondurulması ve buz kristallerinin süblimasyonla üründen uzaklaştırılması temeline dayanmaktadır. Dondurarak kurutma üç aşamada gerçekleşmektedir; dondurma, temel kurutma aşaması ve ikinci kurutma aşaması. Dondurma aşamasında; şoklama veya derin dondurucuda gıdadaki suyun buz kristalleri haline dönüştürülmesi, temel kurutma aşamasında; buz kristallerinin süblimasyonla üründen uzaklaştırılması, ikinci kurutma aşamasında ise gıdada bulunan bağlı suyun uzaklaştırılması sağlanır (Teledo, 1979). 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 vardır. Yukarıda da belirtildiği gibi gıda endüstrisinde mikroenkapsülasyon işlemi genellikle üretim maliyetinin düşük olmasından dolayı püskürtmeli kurutma yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Fakat sıcaklığa duyarlı gıda ürünlerinin (balık yağı, aroma maddeleri gibi) mikroenkapsülasyonunda düşük sıcaklıkların kullanıldığı dondurarak kurutma yöntemi bir alternatif olabilir (Heinzelmann v.d., 2000). Ayrıca, püskürtmeli kurutma yöntemi ile mikroenkapsülasyon işlemi gerçekleştirilirken

kaplama materyallerinin kalınlıkları veya yoğunlukları düşük ise elde edilen toz ürünlerin yüzey alanlarının da çok geniş olmasıyla birlikte, üretilen mikrokapsüller oksidasyondan daha çok etkilenmektedir (Cerimedo v.d., 2008). Dondurarak kurutma yönteminde suyun kristallenmesiyle birlikte

donmamış kısmın yoğunluğu artmakta ve oluşan şekilsiz katı yüzeyi gıda bileşenlerinin difüzyonunu engelleyip geciktirmektedir (Karel ve Langer, 1988). Tablo 3'te dondurarak kurutma yöntemi ile gerçekleştirilen mikrokapsülasyon çalışmaları özetlenmiştir.

Tablo 2. Püskürtmeli kurutma yöntemi ile gerçekleştirilen mikrokapsülasyon çalışmaları.

Çekirdek materyal	Kaplama materyali	Hava giriş sıcaklığı (°C)	Hava çıkış sıcaklığı (°C)	Enkapsülasyon gerekçesi	Kaynak
Süt yağı	Peynir altı suyu proteinleri/laktoz	160	80	Oksidasyon önlenmesi	Young v.d., (1993)
Etil butirat ve Etil kaprilat	Peynir altı suyu proteinleri/laktoz	160	80	Aroma korunması	Rosenberg ve Sheu, (1996)
Likopen	Jelatin/sakkaroz	190	52	Depolama stabilitesini artırma	Shu v.d., (2006)
Linoleik asit	Düşük/yüksek moleküler ağırlıklı çözünür soya polisakkaridi	200	100-110	Oksidasyon önlenmesi	Fang v.d., (2003)
Siyah havuç antosiyanin pigmenti	Maltodekstrin	160	107	Depolama stabilitesini artırma	Ersus ve Yurdagel, (2007)
Portakal yağı	Laktoz/kazeinat	180	80	Aroma korunması	Edris ve Bergnstahl, (2001)
D-limonen	Gam arabik/maltodekstrin/modifiye nişasta	200	110	Oksidasyon önlenmesi	Soottitantawat v.d., (2005)
Portakal kabuğu yağı	Mesquite gam	200	110	Oksidasyon önlenmesi	Beristain v.d., (2002)
Balık yağı	Mısır şurubu tozu/lesitin/Sodyum kazeinat	210	95	Oksidasyon önlenmesi	Keogh v.d., (2001)
Limon yağı	β -siklodekstrin	160	60	Aroma korunması	Baik v.d., (2004)
Balık yağı	Metil selüloz/maltodekstrin/lesitin	160	65	Oksidasyon önlenmesi	Bhandari v.d., (1999)
Konjüge linoleik asit	Peynir altı suyu proteini	200	110	Oksidasyon önlenmesi	Kolanowski v.d., (2006)
Ton balığı yağı	Kitozan/lesitin	180	-	Oksidasyon önlenmesi	Jimenez v.d., (2004)
Balık yağı	Kazeinatlar/laktoz	177	75	Oksidasyon önlenmesi	Klinkesor v.d., (2005)
Karabiber oleoresini	Gam arabik/modifiye nişasta	176-180	105-115	Aroma korunması	Shaikh v.d., (2006)

Tablo 3. Dondurarak kurutma yöntemi ile gerçekleştirilen mikrokapsülasyon çalışmaları.

Çekirdek materyal	Kaplama materyali	Enkapsülasyon gerekçesi	Kaynak
Safran karotenoidleri	Pullulan/polivinilpirolidon	Oksidasyon önlenmesi	Selim v.d., (2000)
Metil linoleat	Gam arabik	Oksidasyon önlenmesi	Minemoto v.d., (1997)
Balık yağı	Sodyum kazeinat/laktoz/maltodekstrin	Oksidasyon önlenmesi	Heinzelmann v.d., (2000)
Düşük-trans katı yağ	Palmitik sakkaroz ester/sodyum kazeinat	Oksidasyon önlenmesi	Cerimedo v.d., (2008)
Limonen	Gam arabik/sakkaroz/jelatin	Aroma korunması	Kaushik ve Roos, (2007)
Portakal yağı	Akasya gamı/modifiye nişasta	Aroma korunması	Buffo ve Reineccius (2001)
Balık yağı	Pullulan/laktoz/jelatin/sakkaroz	Oksidasyon önlenmesi	Koç v.d., (2008a,b)

3. 3. Akışkan Yatak Kaplama

Akışkan yatak kaplama D.E. Wurster tarafından 1950'lerde keşfedilmiş olup Wurster işlemi olarak da bilinmektedir (Arshady, 1993). Ezacılık sektörü, çok uzun zamandan beri ilaçların kaplanması sırasında film oluşturma, tat maskeleyme, elde edilen ürünlerin stabilitesini artırma ve istenilen bölgede etki gösterme amaçlarıyla akışkan yatak kaplama yöntemini kullanmaktadır (Hall ve Pondell, 1980). Akışkan yatak kaplama yöntemi gıda ürünlerinin enkapsülasyonunda çok pahalı olmasından dolayı püskürtmeli kurutma yöntemine kıyasla yaygın olarak tercih edilen bir yöntem değildir. Ancak son yıllarda sürekli akışkan yatak sistemlerinin ortaya çıkışıyla üretim maliyetleri azalmış olup, akışkan yatak kaplama yöntemi de gıda ürünlerinin kaplanmasında bir alternatif olarak yer bulmuştur. Akışkan yatakta kaplama işleminin prensibi, kaplama sıvısının püskürtme başlığı aracılığı ile yatak içerisinde yer alan partiküllerin üzerine püskürtülmesi sonucu katman şeklinde kapsüllerin oluşmasına dayanır (Onwulata, 2005). Üstten, alttan ve açılı püskürtmeli olmak üzere 3 farklı akışkan yatak kaplama yöntemi mevcuttur (Desai ve Park, 2005). Akışkan yatak kaplama yöntemi gıda endüstrisinde beslenmeye destekleyici olarak kullanılan C vitamini, B vitaminleri, demir sülfat, demir fumarat, sodyum askorbat, potasyum klorid ve çeşitli vitamin/mineral karışımları gibi besinsel maddelerin enkapsüle edilmesinde kullanılmaktadır. Et endüstrisinde, renk ve aromanın geliştirilmesi amacıyla çeşitli gıda asitleri akışkan yatak tekniği ile enkapsüle edilmektedir (Dezarn, 1995).

3. 4. Ekstrüzyon

Ekstrüzyon genellikle aroma maddelerinin kaplanmasında kullanılan bir yöntemdir (Desai ve Park, 2005) Püskürtmeli kurutma yöntemi ile karşılaştırıldığında ekstrüzyon oldukça yeni bir teknolojidir. Kaplama materyali olarak genellikle sakkaroz, maltodekstrin, glukoz şurubu, gliserin ve glukoz kullanılmaktadır (Arshady, 1993). Burada sözü edilen ekstrüzyon tahıl bazlı ürünlerin pişirilmesinde ve doku oluşturulmasında kullanılan ekstrüzyon prosesinden farklıdır. Bu yöntem ile uçucu ve stabilitesi düşük olan aroma maddelerinin, bariyer özelliği yüksek, camsı haldeki karbonhidrat matrisleri içerisinde enkapsülasyonu gerçekleştirilmektedir (Reineccius, 1991; Gouin, 2004). Aroma maddelerinin ekstrüzyon yöntemi ile enkapsülasyonu sonucunda oksidasyona karşı oldukça dayanıklı kapsüller elde edilmektedir.

3. 5. Koaservasyon

Koaservasyon, kaplama materyalinin sıvı fazının polimerik çözüldüden ayrılması ile birlikte kaplama fazının çekirdek materyali homojen bir tabaka halinde sarması sonucunda gerçekleşmektedir (Desai ve Park, 2005). Koaservasyon enkapsülasyon

teknolojisinin orijinal yöntemi olarak da bilinmektedir (Risch, 1995). Bu yöntem enkapsülasyon işleminde çalışılan ilk yöntem olup Green ve Scheicer, (1955)'in basınca duyarlı karbonsuz kopya kağıdı üretimine yönelik çalışmalarında kullanılmıştır. Çekirdek materyal polimer ile uyumlu olmalı ve koaservasyon ortamında çözünmemelidir. Koaservasyon basit ve karmaşık koaservasyon olmak üzere ikiye ayrılır. Basit koaservasyonda tek bir tip polimer kullanılırken karmaşık koaservasyon işleminde ise iki veya daha fazla polimer kullanılmaktadır. Koaservasyon teknolojisi gıda endüstrisinde sık kullanılan bir yöntem değildir. Bunun başlıca sebebi, işlemin çok karmaşık olmasının yanında maliyetinin de yüksek olmasıdır (Soper, 1995).

3. 6. Kokristalizasyon

Kokristalizasyon, sakkaroz matrisi ile çekirdek materyalin birleşmesi sonucu ortaya çıkan yeni bir kaplama yöntemidir. Sakkaroz şurubu süper doygun hale gelecek şekilde konsantre edilir ve sıcaklık kristalizasyonu önleyecek şekilde ayarlanır. Önceden belirlenen miktar kadar çekirdek materyal kuvvetli bir şekilde karıştırılan konsantre şurup içerisine ilave edilir. Karıştırma işleminin yardımıyla sakkaroz ve çekirdek materyal iç içe geçerek kapsülleme işlemi meydana gelir (Rizzuto v.d., 1984). Beristain v.d., (1996) portakal kabuğu yağını kokristalizasyon yöntemi ile enkapsüle etmişlerdir. Bu çalışmada, kokristalizasyon yöntemi ile elde edilen ürünlerdeki uçucu yağların tutulumunun püskürtmeli kurutma ve ekstrüzyon yöntemi ile elde edilenlerden daha fazla olduğuna dikkat çekilmiştir.

4. SONUÇ

Mikroenkapsülasyon teknolojisi farmakoloji, kimya, kozmetik, gıda ve boya gibi farklı birçok sektörde üretilen ürünlerin fonksiyonel özelliklerini geliştirmek ve raf ömürlerini uzatmak amacı ile kullanılmaktadır. Gıda ürünlerinin mikroenkapsülasyonunda dış ortam koşullarından kolaylıkla etkilenen katı ve sıvı yağlar, aroma bileşenleri, vitaminler, mineraller, renk bileşenleri ve enzimler çekirdek materyal olarak tercih edilmişlerdir. Duvar veya kaplama materyali olarak ise çoğunlukla nişasta, pullulan, sakkaroz, maltoz, glukoz, laktoz, maltodekstrin, gam arabik, jelatin, peynir altı suyu proteinleri, kazein ve kazeinatlar kullanılmıştır. Gıda ürünlerinin enkapsülasyonunda püskürtmeli kurutma yöntemi ucuz ve kullanımının uygun olması sebebiyle en çok tercih edilen yöntem olmuştur. Bunun yanı sıra dondurarak kurutma, püskürtmeli soğutma, akışkan yatak kaplama, ekstrüzyon, koaservasyon ve kokristalizasyon gibi yöntemler de kullanılmaktadır. Gıda ürünlerinin mikroenkapsülasyonunda kaplama materyalinin ve mikroenkapsülasyon yönteminin seçimi elde edilecek olan mikroenkapsüllerin özelliklerini ve raf ömrünü doğrudan etkileyeceği için

çok dikkatli davranılmalıdır. Probiyotik ve prebiyotik gıda ürünlerinin öneminin artması ile birlikte son yıllarda gıda ile ilgili olarak gerçekleştirilen

mikroenkapsülasyon çalışmaları daha çok canlı mikroorganizmaların kapsülasyonu üzerinedir.

KAYNAKLAR

- Adachi, S., Imaoka, H., Hasegawa, Y., Matsuno, R. 2003. Preparation of a water-in-oil-in-water (W/O/W) type microcapsules by a single-droplet-drying method and change in encapsulation eff. of a hydrophilic substance during storage. *Biosci. Biotech. Bioch.* (67), 1376-1381.
- Arshady, R. 1993. Microcapsules for food. *J. Microencapsul.* (10), 413-435.
- Augustin, M.A., Sanguansri, L., Margetts, C., Young, B. 2001. Microencapsulation of food ingredients. *Food Aust.* (53), 220-223.
- Baik, M. Y., Suhendro, E. L., Nawar, W. W., McClements, D. J., Decker, E. A., Chinachoti, P. 2004. Effects of antioxidant and humidity on the oxidative stability of microencapsulated fish oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.* (81), 355-360.
- Bayram, O. A., Bayram, M., Tekin, A. R. 2005. Spray drying of sumac flavour using sodium chloride, sucrose, glucose and starch as carriers. *J. Food Eng.* (69), 253-269.
- Beristain, C. I., Azuara, E., Vernon-Carter, E. J. 2002. Effect of water activity on the stability to oxidation of spraydried encapsulated orange peel oil using mesquite gum (*Prosopis Juliflora*) as wall material. *Food Eng. Phys. Prop.* (67), 206-211.
- Beristain, C.I., Garcia, H.S., Vernon-Carter, E.J. 2001. Spraydried encapsulation of cardamom (*Elettaria cardamomum*) essential oil with mesquite (*Prosopis juliflora*) gum. *Lebensm.-Wiss. Technol.* (34), 398-401.
- Beristain, C.I., Vazquez, A., Garcia, H.S., Vernon-Carter, E.J. 1996. Encapsulation of orange peel oil by cocrystallization. *Lebensm.-Wiss. Technol.* (29), 645-647.
- Beristain, C.I., Vernon-Carter, E.J. 1994. Utilization of mesquite (*Prosopis juliflora*) gum as emulsion stabilizing agent for spray dried encapsulated orange peel oil. *Dry. Technol.* (12), 1727-1733.
- Bertolini, A. C., Siani, A. C., Grosso, C. R. F. 2001. Stability of monoterpenes encapsulated in gum arabic by spraydrying. *J. Agric. Food Chem.* (49), 780-785.
- Bhandari, B. R., D'Arcy, B. R., Padukka, I. 1999. Encapsulation of lemon oil by paste method using β -cyclodextrin: Encap. efficiency and profile of oil volatiles. *J. Agric. Food Chem.* (47), 5194-5197.
- 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. *Int. J. Pharm.* (264), 45-55.
- Buffo, R.A., Reineccius, G.A. 2001. Comparison among assorted drying processes for the encapsulation of flavors. *Perfumer and Flavorist.* (26), 58-67.
- Caiyuan, Yu, Wei, Wang, Hui, Yao, Hongjing, Liu. 2007. Preparation of phospholipid microcapsule by spray drying. *Dry. Technol.* (25), 695-702.
- Cerimedo, M. S. A., Cerdeira, M., Candal, R. J., Herrera, M. L. 2008. Microencapsulation of low-trans fat in trehalose as affected by emulsifier type. *J. Am. Oil Chem. Soc.* (85), 797-807.
- Chiu, Y. T., Chui, C. P., Chien, J. T., Ho, G. H., Yang, J. and Chen, B. H. 2007. Encapsulation of lycopene extract from tomato pulp waste with gelatin and poly(γ -glutamic acid) as carrier. *J. Agric. Food Chem.* (55), 5123-5130.
- Christensen, K. L., Pedersen, G. P. and Kristensen H. G. 2001. Preparation of redispersible dry emulsions by spray drying. *Int. J. Pharm.* (212), 187-197.
- Curtis, J. M., Berrigan, N. and Dauphinee, P. 2008. TheV determination of n-3 fatty acid levels in food products containing microencap. fish oil using the one-step extraction method. Part 1: Measurement in the raw ingredient and in dry powdered foods. *J. Am. Oil Chem. Soc.* (85), 297-305.
- Desai, K. G. H. and Park, H. J. 2005. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. *Dry. Technol.* (23), 1361-1394.
- Deshpande, M. S., Rale, V. B. and Lynch, J. 1992. *Aureobasidium pullulans* in the applied microbiology: A status report. *Enzyme Microb. Tech.* (108), 111-117.
- Desobry, S.A., Netto, F.M. and Labuza, T.B. 1997. Comparison of spray-drying, drum drying and freeze-drying for (1 \rightarrow 3, 1 \rightarrow 4)- β -carotene encapsulation and preservation. *J. Food Sci.* (62), 1158-1162.
- DeZarn, T. G. 1995. Food ingredients encapsulation: An overview. In S. J. Risch & G. A. Reineccius (Eds.), *Encapsulation and controlled release of food ingredients*. ACS symposium series (Vol. 590, pp. 74-86). Washington, DC: American Chemical Society.
- Dickinson, E. 2003. Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. *Food Hydrocolloid.* (17), 25-39.
- Drusch, S. and Schwarz, K. 2006. Microencapsulation properties of two different types of n-octenylsuccinatederivatised starch. *Eur. Food Res. Technol.* (222), 155-164.
- Dziezak, J.D. 1988. Microencapsulation and encapsulation ingredients. *Food Technol-Chicago.* (42), 136-151.
- Edris, A. and Bergnstahl, B. 2001. Encapsulation of orange oil in a spray drier double emulsion. *Nahrung.* (45), 133-137.

- Ersus, S. and Yurdagel, U. 2007. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota* L.) by spray drier. *J. Food Eng.* (80), 805-812.
- Faltdt, P. and Bergenstahl, B. 1996. Spray-dried whey protein/lactose/soy-bean oil emulsions. 1. Surface composition and particle structure. *Food Hydrocolloid.* (10), 421-429.
- Fang, X., Watanabe, Y., Adachi, S., Matsumura, Y., Mori, T., Maeda, H., Nakamura, A. and Matsuno, R. 2003. Microencap. of linoleic acid with low- and high-molecular-weight components of soluble soybean polysaccharide and its oxidation process. *Biosci. Biotech. Bioch.* (67), 1864-1869.
- Fendler, J. H. and Romero, A. 1977. Liposome as drug carriers. *Life Sci.*, (20), 1109-1120.
- Flink, J. and Karel, M. 1970. Effects of process variables on retention of volatiles in freeze-drying. *J. Food Sci.* (35), 444-447.
- Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A. and Saurel, R. 2007. Application of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Res. Int.* (40), 1107-1121.
- Glenn, G.M. and Stern, D.J. 1999. Starch-based microcellular forms. US Patent Serial 5958589, Washington, DC.
- Godshall, M.A. 1997. How carbohydrates influence food flavor. *J. Food Technol.* (51), 63-67.
- Golovnya, R.V., Misharina, T.A. and Terenina, M.B. 1998. GC evaluation of flavour compound sorption from water solutions by corn starch cryotextures obtained by freezing. *Nahrung.* (42), 380-384.
- Gouin, S. 2004. Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends Food Sci. Tech.* (15), 330-347.
- Green, B.K. and Scheicher, L. 1955. Pressure Sensitive Record Materials. US Patent No. (2), 217, 507, Ncr C.
- Hall, H.S. and Pondell, R.E. 1980. 'The Wurster process' in *Controlled Release Technologies: Methods, Theory and App.*, Vol. II, (Kydonieus, A.F., ed), pp. 133-154, CRC Press, Florida.
- Heinzelmann, K., Franke, K., Jensen, B. and Haahr, A. 2000. Protection of fish oil from oxidation by microencapsulation using freeze-drying techniques. *Eur. J. Lipid Sci. Tech.* 114-121.
- Heinzen, C. 2002. Microencapsulation solve time dependent problems for foodmakers. *European Food and Drink Review.* (3), 27-30.
- Hogan, S. A., McNamee, B. F., O'Riordan, E. D. and O'Sullivan, M. 2001. Emulsification and microencap. prop. of sodium caseinate/carbohydrate blends. *Int. Dairy J.* (11), 137-144.
- Jimenez, M., Garcia, H. S. and Beristain, C. I. 2004. Spray-drying microencapsulation and oxidative stability of conjugated linoleic acid. *Eur. Food Res. Technol.* (219), 588-592.
- Kaçar, A. ve Şahan, N. 2004. Yağ ikame maddeleri kullanılarak üretilen enerjisi azaltılmış dondurmaların kimyasal özellikleri. *Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi.* (8), 7-13.
- Kanakdande, D., Bhosale, R. and Singhal, R. S. 2007. Stability of cumin oleoresin microencapsulated in different combination of gum arabic, maltodextrin and modified starch. *Carbohydr. Polym.* (67), 536-541.
- Karel, M. and Langer, R. 1988. Controlled release of food additives. In: *Flavour Encapsulation* (edited by S.J. Risch & G.A. Reineccius). pp. 177-191. ACS Symposium Series 370. Washington, DC: American Chemical Society.
- Kaushik V. and Roos Y. H. 2006. Limonene encapsulation in freeze-drying of gum Arabic-sucrose-gelatin systems. *Lebensm.-Wiss. Technol.* (40), 1381-1391.
- Kaushik, V. and Roos, Y.H. 2005. Effects of different homogenisation processes on olive oil encapsulation in freeze dried sugar/gelatin matrices. 15th International Symposium on Microencapsulation, Parma, Italy.
- Kaushik, V. and Roos, Y. H. 2007. Limonene encapsulation in freeze-drying of gum arabic-sucrose-gelatin system. *Lebensm.-Wiss. Technol.* (40), 1381-1391.
- Kenyon, M.M. 1995. Modified starch, maltodextrin, and corn syrup solids as wall materials for food encapsulation. In: *Encapsulation and Controlled Release of Food Ingredients* (edited by S.J. Risch & G.A. Reineccius). pp. 43-50. ASC Symposium Series 590. Washington, DC: American Chemical Society.
- Keogh, M. K. and O'Kennedy, B. 1999. Milk fat microencapsulation using whey proteins. *Int. Dairy J.* (9), 657-663.
- Keogh, M. K., O'Kennedy, B. T., Kelly, J., Auty, M. A., Kelly, P. M., Fureby, A. and Haahr, A. M. 2001. Stability to oxidation of spray-dried fish oil powder microencapsulated using milk ingredients. *Food Chemistry and Toxicology.* (66), 217-224.
- Kim, Y.D. and Morr, C.V. 1996. Microencapsulation properties of gum arabic and several food proteins: spray dried orange oil emulsion particles. *J. Agric. Food Chem.* (44), 1314-1320.
- Klinkesorn, U., Sophanodora, P., Chinachoti, P., McClements, D. and Decker E. A. 2005. Stability of spray-dried tuna oil emulsion encapsulated with two-layered interfacial membranes. *J. Agric. Food Chem.* (53), 8365-8371.
- Koç, M., Met, A., Sakin, M. ve Kaymak-Ertekin, F. 2008a. Balık yağının dondurarak kurutma yöntemi ile mikroenkapsülasyonu. *Türkiye 10. Gıda Kongresi*, 21-23 Mayıs 2008, Erzurum. 643-646.
- Koç, M., Met, A., Sakin, M. and Kaymak-Ertekin, F. 2008b. Microencapsulation of fish oil with gelatin, pullulan, lactose and sucrose as coating materials by freeze drying tech.. 8th Int. Conference of Food Physics. pp: 38-39, Plovdiv, Bulgaria.

- Kolanowski, W., Ziolkowski, M., Weissbrodt, J., Kunz, B. and Laufenberg, G. 2006. Microencapsulation of fish oil by spray drying-impact on oxidative stability. Part 1. *Eur. Food Res. Technol.* (222), 336-342.
- Krishnan, S., Bhosale, R. and Singhal, R. S. 2005. Microencapsulation of cardamom oleoresin: Evaluation of blends of gum arabic, maltodextrin and a modified starch as wall materials. *Carbohydr. Polym.* (61), 95-102.
- Kunz, B., Krückeberg, S. and Weissbrodt, J. 2003. Chancen und grenzen der mikroverkapselung in der modernen lebensmittelverarbeitung. *Chem.-Ing.-Tech.* (75), 1733-1740.
- Lamb, R. 1987. Spray chilling. *Food Flavor Ingredients Packaging and Processing.* (9), 39-42.
- Landy, P., Druaux, C. and Voilley, A. 1995. Retention of aroma compounds by proteins in aqueous solution. *Food Chem.* (54), 387-392.
- Madene, A., Jacquot, M., Scher, J. and Desobry, S. 2006. Flavour encapsulation and controlled release – a review. *Int. J. Food Sci. Tech.* (41), 1-21.
- McNamee, B. F., O’Riordan, E. D. and O’Sullivan, M. 1998. Emulsification and Microencapsulation properties of gum Arabic. *J. Agric. Food Chem.* (46), 4551-4555.
- McNamee, B. F., White, L. E., O’Riordan, E. D. and O’Sullivan, M. 2001. Effect of partial replacement of gum arabic with carbohydrates on its microencapsulation properties. *J. Agric. Food Chem.* (49), 3385-3388.
- Menting, L.C. and Hoagstad, B.J. 1967. Volatiles retention during the drying of aqueous carbohydrate solutions. *J. Food Sci.* (32), 87-90.
- Minemoto, Y., Adachi, S. and Matsuno, R. 1997. Comparison of oxidation of methyl linoleate encapsulated with gum arabic by hot-air-drying and freeze-drying. *J. Agric. Food Chem.* (45), 4530-4534.
- Moreau, D. L. and Rosenberg, M. 1993. Microstructure and fat extractability in microcapsules based on whey proteins or mixtures of whey proteins and lactose. *Food Struct.* (12), 457-468.
- Mutka, J.R. and Nelson, D.B. 1988. Preparation of encapsulated flavors with high flavor level. *Food Technol-Chicago.* (42), 154-157.
- Onwulata, C. 2005. *Encapsulated and Powdered Foods.* CRC Press, Taylor & Francis Group, Broken Sound Parkway NW.
- Pedersen, G. P., Faldt, P., Bergenstahl, B. and Kristensen, H. G. 1998. Solid state characterization of a dry emulsion. A potential drug delivery system. *Int. J. Pharm.* (171), 257-270.
- Reineccius, G.A. 1991. Carbohydrates for flavor encapsulation. *Food Technol-Chicago.* (45), 144-147.
- Risch, S.J. 1995. Encapsulation: overview of uses and techniques. In: *Encapsulation and Controlled Release of Food Ingredient* (edited by S.J. Rish & G.A. Reineccius). pp. 2-7. Washington, DC: American Chemical Society.
- Rizzuto, A.B., Chen, A.C. and Veiga, M.F. 1984. Modification of the sucrose crystal structure to enhance pharmaceutical properties of excipient and drug substances. *Pharm. Technol.* (8), 32-35.
- Rosenberg, M. and Sheu, T. Y. 1996. Microencapsulation of volatiles by spray drying in whey protein based wall systems. *Int. Dairy J.* (6), 273-284.
- Selim, K., Tsimidou M. and Biliaderis, C.G. 2000. Kinetic studies of degradation of saffron carotenoids encapsulated in amorphous polymer matrices. *Food Chem.* (71), 199-206.
- Shahidi, F. and Han, X. Q. 1993. Encapsulation of food ingredients. *Crit. Rev. Food Sci.* (33), 501-547.
- Shaikh, J., Bhosale, R. and Singhal, R. 2006. Microencapsulation of black pepper oleoresin. *Food Chem.* (94), 105-110.
- Shu, B., Yu, W., Zhao, Y. and Liu, X. 2006. Study on microencapsulation of lycopene by spray-drying. *J. Food Eng.* (76), 664-669.
- Sliwinski, E. L., Lavrijsen, B. W. M., Vollenbroek, J. M., van der Stege, H. J., Van Boekel, M. A. J. S. and Wouters, J. T. M. 2003. Effects of spray drying on physicochemical prop. of milk protein stabilised emulsions. *Colloid. Surface.* (31), 219-229.
- Soottitantawat, A., Bigeard, F., Yoshii, H., Furuta, T., Ohkawara, M. and Linko, P. 2005. Influence of emulsion and powder size on the stability of encapsulated D-limonene by spray drying. *Innov. Food Sci. Emerg.* (6), 107-114.
- Soper, J.C. 1995. Utilization of Coacervated Flavors. Pp. 104-112. ACS Symposium Series 590. Washington, DC: American Chemical Society.
- Teledo, R.T. 1979. *Fundamentals of Food Process Engineering*, AVI, Publishing Co., Wetsport, Conn.
- Thomas, D.J. and Atwell, W.A. 1999. *Starches.* pp. 94, St Paul, MN: Eagan Press.
- Üçüncü, M. 2005. Süt ve Mamulleri Teknolojisi. pp. 571. Meta basım. Bornova, İzmir.
- Üçüncü, M. 2004. A’dan Z’ye Peynir Teknolojisi. (1-2), 1236. Meta basım. Bornova, İzmir.
- Young, S. L., Sarda, X. and Rosenberg, M. 1993. Microencapsulating properties of whey proteins 1. Microencapsulation of anhydrous milk fat. *J. Dairy Sci.* (76), 2868-2877.
- Yuen, S. 1974. Pullulan and its applications. *Process Biochem.* (22), 7-9.