

Emülsiyonların Özellikleri ve Emülsifikasyon Koşullarının Aroma ve Yağların Mikroenkapsülasyonu Üzerine Etkisi

Özlühan Güngör¹, Aslı Zungur¹, Mehmet Koç², Figen Kaymak-Ertekin¹, ✉

¹Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 35100 Bornova, İzmir

²Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 09010 Aydın

Geliş Tarihi (Received): 09.09.2011, Kabul Tarihi (Accepted): 16.05.2012

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): figen.ertekin@ege.edu.tr (F. Ertekin)

☎ 0 232 311 30 06 📠 0 232 242 75 92

ÖZET

Emülsiyon bazlı mikroenkapsüle ürünlerin üretiminde, emülsiyonun stabilitesi, reolojik özellikleri, damlacık boyutu ve dağılımı son toz ürünün kalitesini doğrudan etkilediği için bu derlemede, gıda endüstrisinde kullanılan mikroenkapsülasyon amaçlı yağ-su emülsiyonlarının; stabilitesi, reolojik özellikleri ve damlacık boyutu ve emülsifikasyon yöntemleri hakkında bilgi sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Emülsiyonların özellikleri, Mikroenkapsüle ürünler, Emülsiyon hazırlama

Emulsions Properties and Effect of Emulsification Conditions on Microencapsulation of Aroma and Oil

ABSTRACT

In production of emulsion based microencapsulated powders, some properties such as emulsion stability, rheology, emulsion droplet size and distribution have direct influences on final quality of powder. This review presents information about stability, rheological properties, droplet size and emulsification method of oil-water emulsions used for microencapsulation in the food industry.

Key Words: Emulsion properties, Microencapsulated powders, Preparation of emulsion

GİRİŞ

Emülsiyonlar, karışmayan iki sıvının birbiri içinde dağılmasından oluşan, homojen görünüşlü heterojen sistemlerdir. Termodinamik olarak dayanıklı değildirler. Emülsiyon içerisindeki dağılmış damlacıklar (globüller) karışımın iç fazını, diğer sıvı kısım ise dış fazını (sürekli faz) oluşturmaktadır. Emülsiyonlar farmasötik, kozmetik, tarım ve gıda endüstrisinde doğal olarak bulunmalarının yanı sıra belirli işlemler sonucunda da üretilmektedirler. Alkolsüz içecekler, süt, krema, sıvı ve toz salata sosları, mayonez, hazır çorbalar, çözeltiler, tereyağı ve margarin, dondurma gibi doğal ve işlenmiş gıdaların birçoğu, kısmen veya tamamen emülsiyonlardan

oluşturmuştur [1-6]. Emülsiyon bazlı gıda ürünleri görünüm, aroma, tekstür, tat ve raf ömrü gibi fizikokimyasal ve duyu özellikler bakımından farklılık gösterirler. Bu çeşitlilik, farklı türlerdeki gıda bileşenlerinden ve istenilen son ürünün karakteristik özelliklerini sağlamak amacıyla kullanılan işleme yönteminden kaynaklanmaktadır. Arzu edilen kalite özelliklerine sahip emülsiyon bazlı gıda ürünlerinin üretimi, en uygun kaliteli hammaddenin (ör. su, yağ, emülsifiye edici ve koyulaştırıcı ajanlar, mineraller, asitler, vitaminler, aromalar, renk maddeleri) ve işleme koşullarının (ör. karıştırma, homojenizasyon, pastörizasyon) seçimine bağlıdır.

Gelişen yaşam şartlarına bağlı olarak tüketiciler hazırlanması hızlı ve kolay hazır ürünlere yönelmektedir. Gıda endüstrisi ise tüketicilerin bu isteklerini birçok bileşeni bir arada barındıran toz karışımlarla karşılamaktadır. Aroma ve yağların toz forma dönüştürülmesinde ise yapısında farklı işlemleri bir arada barındıran mikroenkapsülasyon teknolojisi kullanılmaktadır. Aroma ve yağların çeşitli kurutma yöntemleri ile mikroenkapsülasyonunda en önemli basamaklardan biri de beslenecek emülsiyonun hazırlanmasıdır. Bu emülsiyon, enkapsüle toz ürünün çekirdeğindeki yağ içeriğinin ve aromanın kapsül içerisinde tutulmasının belirlenmesinde kritik rol oynamaktadır.

Bu derlemede aroma ve yağların mikroenkapsülasyonu için hazırlanan emülsiyonların özellikleri (toplam kuru madde konsantrasyonu, viskozitesi, stabilitesi, partikül büyüklüğü) ve emülsifikasyon tipi ve işlem koşullarının mikroenkapsülasyon üzerine etkisi hakkında bilgiler sunulmaktadır.

EMÜLSİYONLARIN ÖZELLİKLERİ

Hazırlanan emülsiyonun karakteristik özellikleri ile enkapsülasyon verimliliği arasında önemli bir ilişki bulunmaktadır. Emülsiyonun; toplam kuru madde konsantrasyonu, viskozitesi, stabilitesi, partikül büyüklüğü ve emülsifikasyon metodu enkapsülasyon işlemindeki önemli parametrelerdir.

EMÜLSİYONLARIN STABİLİTESİ

Emülsiyon stabilitesi, emülsiyon özelliğinin zamanla meydana gelen değişimlere karşı gösterdiği dayanıklılıktır. Stabilitesi yüksek emülsiyonların karakteristik özelliklerinin dış ortam koşullarına göre değişim hızı oldukça yavaştır. Emülsiyonların stabiliteyi çeşitli fiziksel ve kimyasal işlemlerden dolayı bozulabilmektedir. Fiziksel instabilite, moleküllerin yapısal organizasyonunun veya mekaniksel dağılımındaki değişikliklerden kaynaklanırken; kimyasal instabilite ise, moleküllerin kimyasal yapısındaki değişikliklerden kaynaklanmaktadır. Kremleşme, flokülasyon, kısmi koalesans, faz ayrımı ve Oswald olgunlaşması, emülsiyonların fiziksel instabilitelerine örnek iken [4-8] oksidasyon ve hidroliz ise kimyasal instabiliteye örnek olarak gösterilmektedir [9].

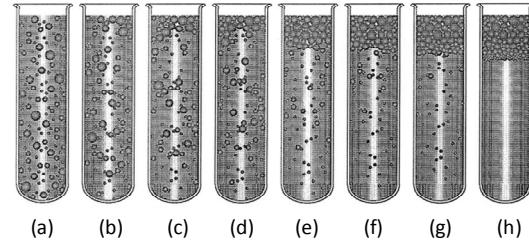
Kremleşme

Stokes eşitliği ile ilgilidir. Bu eşitliğe göre, dispers faz sürekli fazdan daha az yoğunlukta ise (genellikle yağ/su emülsiyonları), çökme hacmi negatif olur ve damlacıklar üstte toplanır (Şekil 1). Kremleşme aynı büyüklükte olmayan damlacıkların hareketi olarak da kabul edilir. Hareketler birbirini etkiler ve damlacıklar deforme olurlar. Stokes eşitliğinde (Eş.1) de görüldüğü gibi, kremleşme hızı viskozite ile ters orantılıdır. Dağılmış fazın damlacık çapı ve sürekli fazın yoğunluğu kremleşme hızına doğrudan etki ederek emülsiyonun stabilitesini

belirlemektedirler. Dış fazın viskozitesindeki artışa paralel olarak emülsiyonun fiziksel stabilitesi yükselmektedir. Emülsiyon içerisinde yer alan iki faz arasındaki yoğunluk farkı büyük olduğunda, dış fazın viskozitesi daha düşüktür. Dağılmış faz içerisindeki büyük damlacıklar küçüklere nazaran daha hızlı kremleşmeye uğrarlar. Damlacıkların çapı kremleşme hızının tayini için en önemli faktördür [10]. Damlacık çapı ve sürekli fazın yoğunluğu azaltılarak kremleşme hızı minimuma getirilebilir.

$$u = -2r^2(\rho_2 - \rho_1)g / 9\mu \quad (1)$$

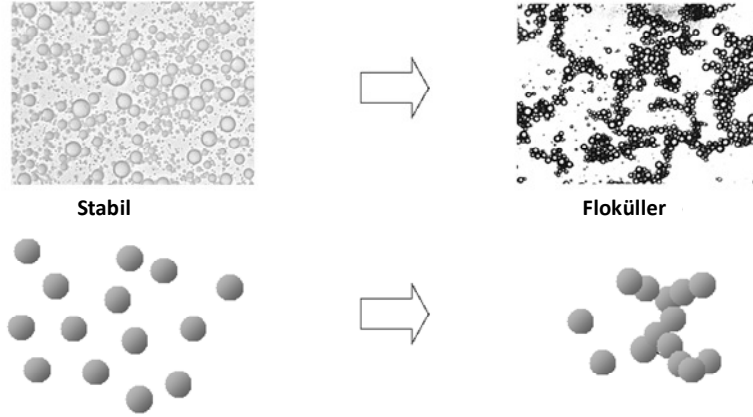
Burada; u, kremleşme hızını (m/s); $\Delta\rho$, yoğunluk farkını (kg/m^3); r, damlacık yarıçapını (m); μ , sürekli fazın viskozitesini (Pa.s); g, yerçekimi ivmesini (m/s^2) tanımlanmaktadır.



Şekil.1 Emülsiyonda kremleşme oluşumunun zamanla değişimi [11].

Flokülasyon

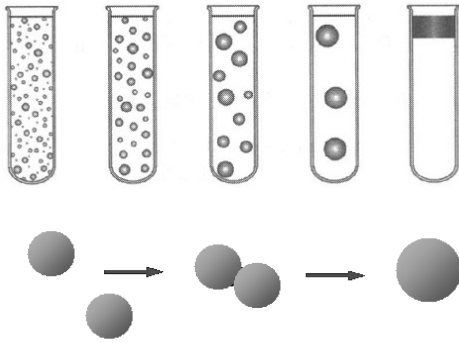
Disperse olan fazın flokülasyonu, kremleşmeden önce, kremleşme sırasında veya daha sonra meydana gelebilir. Flokülasyon iç faz, damlacıklarının geri dönüşümlü agregasyonu olarak tanımlanır. Emülsifiye olan globüllerin yüzey yüklerinden etkilenir. Arayüzeyde koruyucu bir mekanik bariyerin olmadığı durumlarda, örneğin, emülsifiye edici ajan miktarı yeterli değilse, emülsiyon damlacıkları hızla toplanırlar ve koalesansa uğrarlar. Emülsiyon damlacıklarının flokülasyonu, mekanik ve elektriksel bariyerin, damlanın koalesansını önlemeye yeterli olmadığı zaman ortaya çıkmaktadır. Diğer bir deyişle, koalesanstan farklıdır. Şekil 2'de görüldüğü üzere flokülasyonda, yüzeylerarası film ve partiküllerin herbiri bireyselliğini korurken bu tip agregasyonun geri dönüşümlü olması partiküller arasındaki etkileşimin kuvvetine bağlıdır. Bu etkileşme, emülsifiye edici ajanların kimyasal özellikleri, faz hacim oranı, elektrolit ve iyonik emülsifiye edici ajanlar gibi çözünebilir maddelerin derişimi ile saptanır. Flokülasyon sonucu meydana gelen instabilite emülsiyonun viskozitesi ve kayma gerilimi ile yakından ilişkilidir. Yüksek viskozite, damlacıkların hareketlerini önler ve sıkı bir ağ örgüsü şeklinde olan flokülasyona neden olur. Çalkalama ile damlacıklar arasındaki etkileşmeler bozulur ve viskozite düşer [12].



Şekil.2 Stabil emülsiyon ile floküle olmuş emülsiyon arasındaki fark [11].

Koalesans

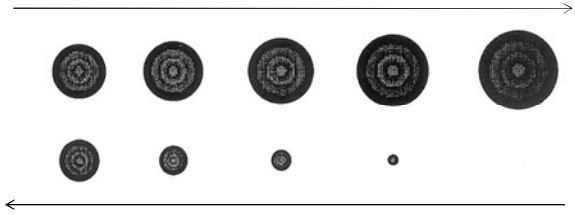
Emülsiyon damlacıklarının birleşerek büyük damlacıkları oluşturmasına koalesans denir [12]. Şekil 3'de de görüldüğü üzere emülsiyon olmuştan zamanla üst üste yığılarak daha büyük damlacıkları oluştururlar ve sonuçta emülsiyon tamamen fazlarına ayrışır. Büyük damlacıkların oluşması küçük damlacıkların elektriksel bariyerlerin yeterli olmamasından kaynaklanmaktadır [13]. Floküle olmuş veya olmamış emülsiyonlarda koalesansın önlenmesinde en önemli etken arayüzey bariyerinin mekanik dayanıklılığıdır. Elektriksel etkilerin ihmal edilebileceği, iyonik olmayan madde içeren su/yağ veya yağ/su tipinde hazırlanmış emülsiyonlarda bu olay özellikle geçerlidir. Koalesans, makromolekül veya katı partikülleri içeren kalın arayüzey filmin oluşumu ile önlenir [12].



Şekil.3 Damlacığın koalesansı yağ ve sıvı fazın tamamen ayrılmasına yol açar [11].

Oswalt Olgunlaşması

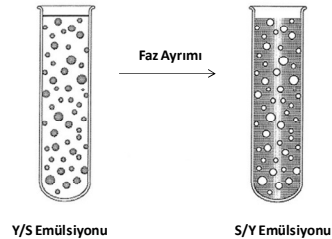
Oswalt olgunlaşması küçük damlacıkların genişlemesi ile büyük damlacıkların oluşumunu tanımlamaktadır. Mekanizmanın işleyişi Şekil 4'de görülmektedir. Sürekli fazdan diğer faza damlacıkların kütle transferi sonucu gerçekleşmektedir [14, 15]. Birçok gıda emülsiyonlarında bu durum, triaçilgliserollerin ve suyun çoklu çözünürlüğünün kütle transfer hızının düşük olmasından dolayı ihmal edilmektedir [4].



Şekil. 4 Oswalt olgunlaşması küçük damlacıkların genişlemesi ile büyük damlacıkların oluşumunu içermektedir [11].

Faz Ayrımı

Bir emülsiyonun su/yağ tipinden yağ/su tipine dönmesine veya aksi olaya faz dönüşümü (faz inversiyonu) denir (Şekil 5). Bu olay, emülsiyonun hazırlanması sırasında iki fazın karıştırılması, ısıtılması ve emülsiyonun soğutulması sırasında görülebilir [16]. Emülsiyon hazırlandıktan sonra faz dönüşümünün oluşması önemli sorunlara neden olmaktadır. Faz hacim oranının değişmesi ve bir elektrolit ilavesi faz dönüşümüne neden olabilir [16]. Sodyum stearat ile stabilize edilen bir yağ/su emülsiyonuna kalsiyum klorür ilave edildiği zaman kalsiyum stearat oluşur ve emülsiyon su/yağ tipine dönüşebilir. Emülsiyon pH'sının zamanla değişmesi de faz dönüşümüne neden olabilir. Ayrıca emülsiyon içerisindeki su ve yağ oranlarının değiştirilmesi ile de faz dönüşümü meydana gelebilir.



Şekil.5 Faz ayrımı sürekli ve kesikli fazın yer değiştirmesi sonucu ortaya çıkmaktadır [11].

Emülsiyon Stabilitesinin Mikroenkapsülasyon Üzerine Etkisi

Yağların ve aromaların enkapsülasyon etkinliği emülsiyonun stabilitesinden etkilenmektedir. Stabilité iyi olduğunda mikroenkapsülasyon verimliliği artmaktadır [17]. Hogan ve ark. [18], soya yağının süt proteinleri ve karbonhidrat karışımları ile mikroenkapsülasyon verimliliğinin rekonstitüe kurutulmuş toz ürünün emülsiyon boyutu ile negatif bir ilişkisi olduğunu belirtmişlerdir. Liu ve ark. [19], kurutma sırasında emülsiyon stabilitesinin emülsifiye hidrofobik aromaların alıkonmaları üzerine etkisini araştırmışlardır. Stabilitenin ölçümü, zamana karşı emülsiyon absorbansının azalma oranı, yada emülsiyon partikül boyutunun artışı incelenmiştir.

Liu ve ark. [19] daha önceki çalışmalarında, emülsiyon damlacık boyutunun zamana karşı değişimini incelemişler ve D-limonen ve etil bütirat için ortalama damlacık çapının logaritmasının zamanın logaritması ile lineer olarak değiştiğini gözlemişlerdir. Her bir aroma için, kapsül içerisindeki aromanın tutulması emülsiyon stabilitesi ile negatif bir ilişki içerisindedir. Stabil olmayan emülsiyonlarda damlacık içinde kırılma gözlenmektedir. Bunun sonucu olarak, kurutma sırasında aroma kayıpları meydana gelmektedir. D-limonen ve etil bütiratın damlacık boyutu karşılaştırıldığında, etil bütiratın D-limonene göre çok daha hızlı bir şekilde büyüdüğü ve D-limonen emülsiyonunun daha stabil olduğu sonucuna varılmıştır.

EMÜLSİYONUN KURUMADDE İÇERİĞİ

Emülsiyon Kurumaddesinin Mikroenkapsülasyon Üzerine Etkisi

Kurutma sırasında yağların enkapsülasyon verimliliğini ve aromanın tutulmasının belirlenmesinde en önemli faktörlerden biri de beslemenin çözünmüş kurumadde içeriğidir. Hazırlanan emülsiyonun kurumadde içeriği arttıkça, kuruyan partikülün yüzeyinde, yarı geçirgen membranın oluşması için gerekli zaman azalmaktadır. Ayrıca yüksek miktardaki toplam kurumadde içeriği, emülsiyon viskozitesinin artmasını sağlar, çekirdek materyalin damlacık içerisindeki hareketini önler.

Bu konuda önem verilen iki nedenden ilki, fazla kaplama materyali ilavesi ile kurumaddenin artırılması sonucunda çözünürlüğün aşılması ve bu çözünmeyen kaplama materyallerinin herhangi bir etkin enkapsülasyon etkisi sağlamamasıdır. Bu oluşum da kurutma işlemi sırasında aroma kayıplarına ve oksidasyona yol açar. İkinci neden ise kurutucuya beslenecek çözeltinin optimum kurumadde içeriğinin başlangıç emülsiyonun viskozitesi ile ilişkili olmasından kaynaklanmaktadır. Beslemenin kurumadde içeriğinin etkisi kaplama materyalinin çeşidine bağlıdır.

Sankarikutty ve ark. [20] ve Rosenberg ve ark. [21] gibi bazı araştırmacılar aroma ve yağların kurutulmasında besleme çözeltisinin optimum kurumadde içeriğinin mümkün olduğunca yüksek olmasını önermektedirler. Liu ve ark. [19] D-limonenin kapsül içerisinde

tutulmasının (%95'den fazla) başlangıç kurumadde içeriğine bağlı olduğunu ortaya koymuşlardır. Etil bütirat ve etil propiyonatın kapsül içerisinde tutulması da kurumadde içeriğine bağlı olarak değişmektedir. Liu ve ark. [19] da, etil kaprülütin kaplanması başlangıç kurumadde içeriğinin doğrudan etkili olduğunu belirtmişlerdir. %25'in altındaki kuru madde içeriklerinde, yağların kapsülde alıkonması konsantrasyon arttıkça artmaktadır.

Damlacığın yüzeyindeki hızlı kabuk oluşumu sayesinde uçucu materyallerin emülsiyonun yapısından çıkmaları zorlaşmaktadır. Sonuç olarak, çok hızlı kaybedilebilen uçucu materyallerin ve yağların (düşük molekül ağırlıklı), besleme çözeltisinin kurumadde konsantrasyonundan belirgin bir şekilde etkilendiği görülmektedir.

EMÜLSİYONLARIN REOLOJİSİ

Emülsiyonların reolojik özellikleri birçok sebepten dolayı gıda bilimi için önemlidir [4; 22-26]. Gıda emülsiyonlarının duyu özelliklerinin birçoğu reolojik özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Üreticiler bu sebeple tüketiciler tarafından beklenen reolojik özellikteki ürünlerin üretilmesi için gerekli tasarımı yapmak zorundadır. Gıda emülsiyonlarının raf ömrü bileşenlerinin reolojik özelliklerine bağlıdır (örn. yağ damlacıklarının kremleşmesi sıvı fazın viskozitesine bağlıdır).

Gıda ürünlerinin reolojisi hakkındaki bilgi, gıda mühendislerince üretim işlemlerinin tasarımında kullanılmaktadır. Gıdaların reolojik davranışları, boru içerisinde akış, karıştırma veya paketlenme işlemlerinde farklılık göstermektedir.

Emülsiyon Viskozitesinin Mikroenkapsülasyon Üzerine Etkisi

Başlangıç emülsiyonunun kurumadde içeriğinin artmasıyla artan viskozite, damlacığın içerisindeki sirkülasyonun azalması ve hızlı yarı-geçirgen membranın oluşumu ile uçucu bileşenlerin kapsül içerisinde kalmasını sağlamaktadır. Çeşitli araştırmacılar, kurumadde içeriğini değiştirmeden koyulaştırıcı ilavesi ile (karboksümetil selüloz, gumlar, sodyum alginat veya jelatin) emülsiyon viskozitesinin artırılması üzerine çalışmışlardır. Rosenberg ve ark. [21] ve Silva ve Re [27], sodyum alginat ilavesinin etil kaprülüt ve eugenolün püskürtmeli kurutma ile mikroenkapsülasyonunda alıkonması üzerine çalışmışlardır. Emülsiyonun viskozitesi, damlacığın kuruması sırasında oluşan yarı geçirgen zarın ve aroma kaybının kontrolü üzerindeki büyük etkisi sayesinde, aromaların alıkonmasının belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Optimum noktaya kadar emülsiyonun viskozitesi arttıkça kapsül içerisindeki sirkülasyon yavaşlamakta ve difüzyon yavaşlayarak kapsül içerisinde tutulma gelişmektedir. Optimum sınırın üzerinde artan emülsiyon viskozitesi, atomizasyon sırasında parçalanma sebebiyle alıkonmanın azalmasına sebep olmakta ve damlacık oluşumu zorlaşmaktadır. Yoğun viskoziteli besleme çözeltisi ile

damlacık boyutu büyük ve düzensiz yapıda partiküller oluşacaktır.

EMÜLSİYONUN DAMLACIK BOYUTU

Gıda emülsiyonlarının fizikokimyasal özellikleri içerdikleri damlacıkların özelliklerinden önemli derecede etkilenmektedir [1;5;11]. Damlacık boyutunun emülsiyonların; stabilitesi, optik özellikleri, reolojisi ve duyu özellikleri üzerinde önemli bir etkisi vardır [11]. Bundan dolayı damlacık boyutunun ölçümü ve belirlenmesi emülsiyonlar için önemlidir. Eğer emülsiyondaki damlacıkların hepsi aynı boyutlara sahipse; monodispers olarak adlandırılır ve emülsiyon damlacık boyutunu karakterize etmek için tek bir çap (veya yarıçap) kullanılır. Ancak genelde emülsiyonlar farklı boyutlardaki damlacıklardan oluşmaktadır ve bunlar polidispers olarak isimlendirilmektedir. Polidispers emülsiyonları karakterize etmek için farklı boyutlara sahip damlacıkların konsantrasyonunu belirten partikül boyut dağılımı terimi kullanılmaktadır [11]. Belirli özelliklere sahip ürünler oluşturabilmek için; damlacıkların çoğunun önceden tahminlenen boyut aralığında olmasını sağlamak gerekmektedir. Bu nedenle de emülsiyon damlacık boyutunu etkileyen faktörler bilinmelidir.

EMÜLSİFİYE EDİCİ AJAN TİPİ VE KONSANTRASYONU

Homojenizasyon işlemiyle birlikte damlacık boyutu azalmakta; buna bağlı olarak arayüzey alanı artmaktadır. Bu işlemde öncelikle damlacıklar belirli bir boyuta kadar küçülürler; sonrasında damlacıkların etrafını emülsifiye edici madde sararak komşu damlacıklar ile birleşme eğilimi gösterirler. Gıda sanayinde birçok farklı emülsifiye edici madde çeşidi kullanılmaktadır ve her biri homojenizasyon sırasında farklı karakteristik özellikler sergilemektedir. Bu nedenle üretici, homojenizasyon sırasındaki performansına, çözünme koşullarına, fiyatına, stabilitesine ve son üründe arzu edilen fizikokimyasal özelliklerine bakarak en uygun emülsifiye edici madde tipini ve konsantrasyonunu seçmelidir [11].

Verilen Enerji

Emülsiyon damlacık boyutunu homojenizasyon sırasında verilen enerjinin miktarını arttırarak küçültmek mümkündür [11]. Homojenizasyonun tipine bağlı olarak verilen enerjinin miktarını arttırmanın farklı yolları vardır. Yüksek hızlı karıştırıcılarda; dönüş hızını veya homojenizasyon süresini arttırarak; yüksek basınçlı vana homojenizatörde ise; homojenizasyon basıncını arttırarak verilen enerjiyi arttırmak mümkündür. Verilen enerji, kolloid değirmeninde sabit ve hareketli kısım arasındaki boşluğu azaltarak, dönüş hızını arttırarak veya pürüzlü yüzeye sahip disk kullanarak artırılabilir. Ultrasonik homojenizatörde ise; verilen ultrasonik dalganın yoğunluğunu veya süreyi arttırarak verilen enerji artırılabilir. Ancak verilen enerjinin artışı üretim maliyetinin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle damlacık boyutu, maliyet ve süre arasında bir optimizasyon yapılmalıdır [28].

Bileşenlerin Fazlarının Özellikleri

Hem yağ hem de su fazının kompozisyonu ve fizikokimyasal özellikleri homojenizasyon sırasında üretilen damlacıkların boyutunu etkilemektedir. [29]. Su ve yağ fazının bileşimindeki değişim kararlı koşullarda minimum boyutu belirleyen viskozite oranını değiştirir. Farklı yağlar içerdikleri farklı molekül yapılarından dolayı su ile temas ettiğinde farklı yüzey gerilimine sahiptirler. Çünkü yağın cinsine bağlı olarak yüzey aktif madde de (serbest yağ asidi, monoaçilgliserol, diaçilgliserol) değişmektedir. Emülsiyonun su fazı mineral, asit, baz, biopolimer, şeker, alkol, buz kristali ve hava kabarcığı gibi birçok farklı komponenti bünyesinde barındırmaktadır. Bu komponentlerin birçoğu homojenizasyon sırasında damlacık boyutunu değiştirmektedir. Çünkü emülsiyonun içerdikleri bu komponentlere bağlı olarak emülsiyonun reolojisi, arayüzey gerilimi, stabilitesi ve adsorpsiyon kinetiği de değişmektedir. Örneğin; su fazında çok az miktarda bulunan kısa zincirli alkol yüzey gerilimini azalttığı için damlacık boyutunun azalmasına neden olmaktadır [30].

Sıcaklık

Sıcaklık homojenizasyon sırasında damlacık boyutunu çeşitli şekillerle etkilemektedir. Su ve yağ fazının viskozitesi sıcaklığa bağlıdır; bu nedenle minimum damlacık boyutu, viskozite oranındaki değişimden dolayı değişebilir [11]. Emülsiyonların ısıtılması su ve yağ fazı arasındaki yüzey geriliminde hafif bir azalma yaratarak daha küçük boyutlara sahip damlacık oluşumuna neden olmaktadır.

Emülsiyon Damlacık Boyutunun Mikroenkapsülasyon Üzerine Etkisi

Kaplama materyalinin enkapsülasyon etkinliği, emülsiyon damlacık boyutunun azalmasıyla artmaktadır. Yapılan çalışmaların çoğunda, emülsiyon damlacık boyutu yaklaşık 1 mikrona kadar düşürülmektedir, ancak 1 mikronun altındaki boyutlarda emülsiyon boyutunun enkapsülasyon etkinliğini etkileyip etkilemediğini gösteren bir çalışma bulunmamaktadır. Küçük boyutlara (<1.0 µm) sahip emülsiyon eldesi, uygun emülsifikasyon metodu ile yüzey aktif biopolimerler ile elde edilebilir. Emülsiyon damlacık boyutunun küçük olmasının diğer bir avantajı ise yüksek stabilite sağlamasıdır. Emülsiyon damlacık boyutu, sonuç enkapsüle toz ürünün karakteristik özelliklerini de etkilemektedir. Risch ve Reinccius [31], portakal kabuğu yağının modifiye nişasta veya gum arabik ile mikroenkapsülasyonunda, emülsiyon damlacık boyutunu minimum olacak şekilde azaltarak, küçük emülsiyon damlacık boyutunun, kapsül içerisinde aroma alıkonmasını arttırdığını ve kaplanmamış yağ oranının (yüzey yağı) azaldığını bulgulamışlardır. Ancak, ilginç bir şekilde emülsiyon damlacık boyutunun büyük olduğu durumda raf ömrünün uzadığını belirtmişlerdir. Minemoto ve ark. [32] ise küçük damlacık boyutuna sahip enkapsüle linoleik asitin oksidasyonunun damlacık boyutu büyük olan ürüne kıyasla daha yavaş olduğunu belirtmişler; bunun nedenini yüzeydeki kapsüllenmeyen yağ miktarının düşmesine bağlamışlardır.

Liu ve ark. [33] ve Soottitantawat ve ark. [34] ise farklı kaplama materyalleri kullanarak, (gum arabik, Hi-Cap, maltodekstrin), emülsiyon içerisindeki yağ partiküllerinin boyutları arttıkça, D-limonenin kapsül içerisinde alıkonmasının azaldığını belirtmişlerdir. Bu durumun damlacık boyutu daha küçük emülsiyonlarda (<2 µm) daha belirgin olduğunu ifade etmişlerdir.

EMÜLSİFİKASYON TEKNİKLERİ

Emülsifikasyon işlemi basitçe bir karıştırma işlemidir. Genellikle emülsiyon hazırlama işlemleri karıştırıcılarda yapılmaktadır [35]. Ancak son yıllarda emülsiyon hazırlamak için kullanılan özel aletler; yüksek basınçlı sistemler, ultrasonik homojenizatörler, rotor-stator ve membran sistemler geliştirilmiştir [36, 37].

Laboratuvar çalışmalarında genelde daha verimli ve uygun emülsiyon elde etmek için emülsiyon hazırlama işlemi iki aşamada gerçekleştirilmektedir. Birinci aşamada iki fazın karışması sağlanarak genellikle rotor-stator ile kaba bir emülsiyon elde edilmekte; ikinci aşamada ise yüksek basınçlı sistemler ile damlacık boyutu küçülerek son ürün elde edilmektedir [38].

Rotor–Stator Sistemleri

Bu sistemler çoğunlukla orta ve yüksek viskoziteye sahip sıvıların emülsiyon edilmesinde kullanılmaktadır [23, 39, 40]. Ticari olarak kullanılan farklı dizayna sahip kolloid değirmenleri mevcuttur; ancak hepsi aynı fiziksel prensibe sahiptir [11]. Kesikli sistemler için karıştırıcılar veya dişli dispersiyon makinaları; sürekli sistemler için ise pürüzlü veya dişli rotor ve statora sahip kolloid değirmenleri kullanılmaktadır [37]. Sıvı, kolloid değirmenine ya kaba emülsiyon olarak ya da ayrı fazlar halinde beslenmekte, rotor ve stator arasındaki dar boşluktan akarak geçmektedir [41-43]. Bu sistemlerde emülsiyon damlacık boyutunu küçülten iki önemli kuvvet mevcuttur. Bu kuvvetlerden biri yüksek sıvı ivmesi nedeniyle duvarda meydana gelen mekanik sıkışmadan kaynaklanmaktadır. Diğer bir kuvvet ise rotorun hızlı dönmesiyle; rotor ve stator arasında oluşan kayma geriliminden meydana gelmektedir. Oluşan kayma geriliminin yoğunluğu boşluğun kalınlığına (50-1000 mm), dönüş hızına (1000-25000 rpm) ve kullanılan diskin yüzeyine bağlı olarak değişiklik göstermektedir [35, 44].

Gıda üreticileri en iyi damlacık boyutunu ve üretim masraflarını öngörebilmek için; dönüş hızını, boşluk aralığını, rotor/stator tipini baştan belirlemelidir. Genel olarak kolloid değirmenlerinde çalışmadan dolayı meydana gelen sıcaklık artışını engellemek için soğutucu kullanılması gerekmektedir. Bu cihazlar damlacık boyutu 1 ve 5 µm arasında değişen emülsiyonlar üretmek için uygundur.

Yüksek Basınçlı Vana Sistemleri

Bu sistemlerin sınıflandırılması nozul geometrisine ve dizaynına ve akışa bağlı olarak yapılmaktadır [36, 45]. Endüstride en yaygın olarak kullanılan yüksek basınçlı

sistemler, standart bir nozula sahip olan homojenizasyon vanalarıdır. Damlacık boyutunu küçültme de çok etkin oldukları için; ince emülsiyon üretiminde kullanılmaktadırlar. Üretim sırasında ürün öncelikle yüksek hızlı karıştırıcıya beslenerek burada kaba emülsiyon oluşturulmakta ve sonrasında bu ürün doğrudan yüksek basınçlı homojenizasyon vanasına gönderilerek, buradan daha ince bir emülsiyon olarak çıkmaktadır. Tipik olarak homojenizasyon da basınç 5-50 MPa arasında değişmektedir; ancak daha gelişmiş sistemlerde basıncı 700 MPa 'a kadar çıkarmak mümkündür [46-48].

Yüksek basınçlı vana homojenizatörler birçok gıda maddesinde kullanılmasına rağmen, eğer son ürün olarak daha küçük damlacık boyutuna sahip ürünler isteniyorsa orta ve düşük viskoziteli materyaller ile kullanılması daha uygundur [11]. Kaba bir emülsiyon isteniyorsa ürünün homojenizatörden bir kere geçirilmesi yeterlidir; ancak ürünün birkaç defa geçirilmesiyle daha küçük damlacık boyutuna sahip ürünler elde etmek mümkündür. Bu yöntem ile damlacık boyutu 0.1 µm 'den az emülsiyonlar elde edilebilir. Genelde bu cihazlarda sıcaklık artışı çok fazla değildir ancak ürün homojenizatörden birden fazla geçirilecek veya çok yüksek basınçlarda çalışılacaksa sıcaklık artışı göz önünde bulundurularak, önceden önlemi alınmalıdır.

Ultrasonik Homojenizatörler

Ultrasonik emülsifikasyon yönteminde, enerji girişi alternatif elektrik gerilimine yanıtı genişletilebilen ve daraltılabilen, pizelektrik kuartz kristal içeren sonikatör probu ile sağlanır. Sonik probun ucu sıvıya temas eder, mekanik titreşimler oluşturur ve ultrasonik etkiye sebep olan kaviteasyon meydana gelir, [49-52]. Kaviteasyon, akan sıvıda buhar boşluklarının oluşumu ve birikimidir. Buhar boşlukları, yerel hız değişiklikleri sebebiyle akan sıvının buhar sıcaklığında yerel basıncın azalmasıyla oluşmaktadır [52]. Bu boşlukların birikimi, çözelti boyunca prob ucunun yüzeyinden güçlü şok dalgalarının yayılmasına sebep olur ve sonuç olarak dağılmış damlacıklar kırılır.

Ultrason aralığında, mevcut güç, frekans ile ters orantılı olarak değişir ve sadece ultrason gücü (16-100 kHz), emülsifikasyonda fiziksel veya kimyasal değişiklikler meydana getirebilir [53]. Ultrason mekaniksel ve elektriksel olarak meydana gelebilir. Düşük viskoziteli sıvıların hazırlanan emülsiyonlar için bu yöntem geçerlidir; fakat bu yöntem emülsiyonların büyük ölçekli üretimleri için pratik değildir.

Diğer Metotlar

Son yıllarda, diğer birçok emülsifikasyon sistemleri, membran ve mikrokanal emülsifikasyonlarını içererek geliştirilmektedir [54-58].

Emülsifikasyon Metodunun Mikroenkapsülasyon Üzerine Etkisi

Emülsiyon damlacık boyutu, mikroenkapsüllerin karakteristik yapısını etkileyen önemli bir faktör olmakla

birlikte bu parametre emülsifikasyon metodu ile birleştirildiğinde emülsiyon stabilitesinin geliştirilmesi, raf ömrünün uzatılması ve aromanın kapsül içerisindeki tutulmanın artırılması sağlanabilmektedir [11]. Enkapsülasyon çalışmalarında en önemli aşamalardan biri olan emülsiyon hazırlamada temel amaç, stabil ve damlacık boyutu küçük emülsiyonlar hazırlamaktır. Emülsiyon hazırlamada homojenizasyon işlemi, ön homojenizasyon ve esas homojenizasyon olarak iki aşamada yapılmaktadır. Emülsiyon hacmi, emülsiyonun viskozitesi, istenilen damlacık boyutu gibi faktörler homojenizasyon işlemi için uygun olan ekipman seçimini etkiler. Yüksek basınçlı homojenizatörler yerine ultrasonik sistemlerin de mikroenkapsülasyonda başarılı olarak kullanıldığı belirtilse de [60], kullanımı üzerine fazla çalışma bulunmamaktadır. Ultrasonik karıştırıcılar temel olarak sıvıya akustik bir basınç vermektedir. Sisteme verilen basıncın büyüklüğü de ultrasonik dönüştürücünün sisteme verdiği güç ile orantılıdır [59]. Bu basınç sonucu oluşan kavitasyonlar iki fazın karışmasına olanak verir. Ultrasonik dönüştürücünün sisteme verdiği güç, gücün verilme süresi ve emülsiyonun sıcaklığı, homojenizasyonun başarısını belirleyen faktörlerdir [60]. Yüksek hızlı karıştırıcılar yerine ultrasonik karıştırıcı kullanmanın, kaplama materyalinin emülsiyon oluşturma özelliği düşük olsa bile (maltodekstrin gibi), emülsiyon kalitesi ve stabilitesini artırdığı bulgulanmıştır. Ultrasonik sistem ile daha ince emülsiyon damlacık boyutu ve daha yüksek enkapsülasyon verimi elde edildiği de belirtilmektedir [59]. Emülsiyon damlacık boyutu ne kadar küçükse, hem toz kapsül verimi artmakta hem de toz ürün yüzeyinde daha az ekstrakte edilebilir yağ kalmakta, dolayısıyla mikrokapsülün oksidatif stabilitesi artmaktadır. Benzer özellikler (ince damlacık boyutu, stabil bir emülsiyon ve yüksek enkapsülasyon verimi) klasik homojenizasyon sisteminde homojenizasyon basıncı ve süre artırılarak elde edilebilir. Mongenot ve ark. [61]'nin araştırmasına göre, ultrason kullanımı emülsiyonun kalitesini arttırmasına rağmen maltodekstrin gibi kaplama materyalinin emülsiyon özelliklerini ve viskozitesini düşürmektedir. Kaplama materyali olarak modifiye nişasta kullanılarak ve ultrasonik emülsifikasyon yöntemiyle aroma tutulmasının arttırıldığı gözlemlenmiştir [60].

SONUÇ

Yağların enkapsülasyonunda en önemli basamaklardan biri beslenecek olan emülsiyonun hazırlanmasıdır. Emülsiyon hazırlama işlemi, sonuç enkapsüle toz ürünün yüzeyindeki serbest yağ içeriği miktarının belirlenmesini yani enkapsülasyonun verimliliğini etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Mikrokapsüle aroma ve yağların üretiminde, kaplama materyalinin ve çekirdek materyalin özellikleri hazırlanan emülsiyonun karakteristiğini etkilemekte ve kurutma ile birlikte enkapsülasyon etkinliğini belirleyen önemli parametreleri oluşturmaktadır.

Emülsiyon hazırlama aşamasındaki temel hedef, stabil ve damlacık boyutu küçük emülsiyonlar hazırlamaktır. Emülsiyon damlacık boyutunu düşürmek daha iyi bir enkapsülasyonun gerçekleştirilmesine olanak sağlar.

Emülsiyon damlacık boyutu düşürülüp, daha stabil bir emülsiyon elde edilebilmektedir. Emülsiyonun yüksek kurumadde içeriğinin enkapsülasyon verimini artırdığını görülmektedir. Ancak yüksek kurumadde içeriği emülsiyon viskozitesini arttırmakta, dolayısıyla kurutma işlemi sırasında damlacık sirkülasyonunu önlemekte ve hızlı kabuk oluşumuna neden olmaktadır. Hazırlanan emülsiyonun olabilecek en yüksek kurumadde içeriğinde kurutucuya beslenmesi, ancak bu değerini optimize edilmesi ile mümkün olabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Friberg, S., Larsson, K., 1997. Food Emulsions. 3rd ed., Marcel Dekker, New York.
- [2] Krog, M.J., Riisom, T.H., Larsson, K., 1983. Applications in the food industry. In Encyclopedia of Emulsion Technology, Vol. 2, Becker, P., Ed., Marcel Dekker, New York.
- [3] Jaynes, E.N., 1983. Applications in the food industry. In Encyclopedia of Emulsion Technology, Vol. 2, Becher, P., Ed., Marcel Dekker, New York.
- [4] Dickinson, E., Stainsby, G., 1982. Colloids in Foods. Applied Science Publishers, London.
- [5] Dickinson, E., 1992. Introduction to Food Colloids. Oxford University Press, Oxford.
- [6] Swaisgood, H.E., 1996. Characteristics of milk. In Food Chemistry, 3rd ed., Fennema, G.R., Ed., Marcel Dekker, New York.
- [7] Walstra, P., 1996. Emulsion stability. In Encyclopedia of Emulsion Technology, Vol. 4, Becher, P., Ed., Marcel Dekker, New York.
- [8] Walstra, P., 1996. Disperse systems: Basic considerations. In Food Chemistry, 3rd ed., Fennema, O.R., Ed., Marcel Dekker, New York.
- [9] Fennema, O.R., 1996. Food Chemistry. 3rd ed., Marcel Dekker, New York.
- [10] Martin, A., Busmante, P., Chun, A.H.C., 1993. Coarse dispersions. Physical Pharmacy Fourth Ed., Lea and Febiger, Philadelphia, 477-511p.
- [11] McClements, D.J., 1999. Food Emulsions; Principles, Practice, and Techniques. 2nd Ed, CRC Press.
- [12] Im-Emsap, W., Siepmann, J., 2002. Disperse systems. Modern Pharmaceutics, Marcel Dekker Inc., New York, 237-285p.
- [13] Rieger, M., 1986. Emulsions. The Theory and Practice of Industrial Pharmacy, Lea and Febiger, Philadelphia, 502-533p.
- [14] Kabalnov, A.S., Shchukin, E.D., 1992. Ostwald ripening theory: Applications to fluorocarbon emulsion stability. *Advances in Colloid and Interface Science* 38: 69.
- [15] Taylor, P., 1995. Ostwald ripening in emulsions. *Colloids and Surfaces* 99: 175.
- [16] Swarbrick, J., Rubino, J., Rubi, O.P., 2000. Coarse dispersions. Remington: The Science and Practice of Pharmacy, (20th Ed) (Ed: Gennaro A), University of the Sciences in Philadelphia, 316-334p.
- [17] Sheu, T.Y., Rosenberg, M., 1998. Microstructure of microcapsules consisting of whey proteins and carbohydrates. *Journal of Food Science* 63 (3): 491-494.

- [18] Hogan, S.A., McNamee, B.F., O’Riordan, E.D., O’Sullivan, M., 2001. Microencapsulating properties of sodium caseinate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49 (4): 1934-1938.
- [19] Liu, Y.J., Re, M.I., 1995. In Spray Drying Microencapsulation of Active Substances, *Proc. 23rd Brazilian Congress on Porous Materials*, Brazil, Book of Proceedings, 375-385p.
- [20] Sankarikutty, B., Sreekumar, M.M., Narayanan, C.S., Mathew, A.G., 1988. Studies on microencapsulation of cardamon oil by spray drying technique. *International Journal of Food Science and Technology* 25(6): 352-356.
- [21] Rosenberg, M., Kopelman, I.J., Talmon, Y., 1990. Factors affecting retention in spray-drying microencapsulation of volatile materials. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 38(5): 1288-1294.
- [22] Sherman, P., 1970. *Industrial Rheology with Particular Reference to Foods. Pharmaceuticals and Cosmetics*, Academic Press, London.
- [23] Race, S.W., 1991. Improved product quality through viscosity measurement. *Food Technology* 45: 86.
- [24] Shoemaker, C.F., Nantz, J., Bonnans, S., and Noble, A.C., 1992. Rheological characterization of dairy products. *Food Technology* 46: 98.
- [25] Rao, M.A., 1995. Rheological properties of fluid foods. *Engineering Properties of Foods*, 2nd ed., Rao, M.A. and Rizvi, S.S.H., Eds., Marcel Dekker, New York, chap. 1.
- [26] Rao, V.N.M., Delaney, R.A.M., Skinner, G.E., 1995. Rheological properties of solid foods. *Engineering Properties of Foods*, 2nd ed., Marcel Dekker, New York, chap. 2.
- [27] Silva, D.P., Re, M.I., 1996. In Effect of the Emulsion Viscosity on the Volatiles Retention during Spray Drying Microencapsulation. *Proc. 24th Brazilian Congress on Porous Mater*, Brazil, Book of proceedings, 196-201p.
- [28] Walstra, P., 1983. Formation of emulsions. *Encyclopedia of Emulsion Technology*, Vol. 1 New York, USA, 57-128p.
- [29] Phipps, L.W., 1985. *The High Pressure Dairy Homogenize*. The National Institute for Research in Dairying, Reading, England.
- [30] Banks, W., Muir, D.D., 1988. Stability of alcohol containing emulsions. *Advances in Food Emulsions and Foams*, Dickinson, E. and Stainsby, G., Eds., Elsevier Applied Science, London, chap. 8.
- [31] Risch, S.J., Reineccius, G.A., 1988. Spray-dried orange oil -effect of emulsion size on flavor retention and shelf stability. *ACS Symposium Series* 370: 67-77.
- [32] Minemoto, Y., Fang, X., Hakamata, K., Watanabe, Y., Adachi, S., Kometani, T., Matsuno, R., 2002. Oxidation of linoleic acid encapsulated with soluble soybean polysaccharide by spray-drying. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry* 66 (9): 1829-1834.
- [33] Liu, X.D., Furuta, T., Yoshii, H., Linko, P., 2000. Retention of emulsified flavor in a single droplet during drying. *Food Science and Technology Research* 6 (4): 335-339.
- [34] Soottitantawat, A., Bigeard, F., Yoshii, H., Furuta, T., Ohkawara, M., Linko, P., 2005. Influence of emulsion and powder size on the stability of encapsulated D-limonene by spray drying. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 6(1): 107-114.
- [35] Becher, P., 2001. *Emulsions: Theory and practice*. Oxford University Press, Oxford.
- [36] Schultz, S., Wagner, G., Urban, K., Ulrich, J., 2004. High-pressure homogenization as a process for emulsion formation. *Chemical Engineering and Technology* 27: 361-368.
- [37] Urban, K., Wagner, G., Schaffner, D., Roglin, D., Ulrich, J., 2006. Rotor-stator and disc systems for emulsification processes. *Chemical Engineering and Technology* 29: 24-31.
- [38] Jafari, S.H., Assadpoor, E., He, Y., Bhandari, B., 2008. Re-coalescence of emulsion droplets during high-energy emulsification. *Food Hydrocolloids* 22: 1191-1202.
- [39] Loncin, M., Merson, R.L., 1979. *Food Engineering: Principles and Selected Applications*. Academic Press, New York.
- [40] Fellows, P., 1988. *Food Processing Technology: Principles and Practice*. VCH Publishers, Weinheim, Germany, chap. 3-4.
- [41] Maa, Y.F., Hsu, C., 1996. Liquid-liquid emulsification by rotor/stator homogenization. *Journal of Controlled Release* 38: 219-228.
- [42] Maa, Y.F., Hsu, C., 1996. Liquid-liquid emulsification by static mixers for use in microencapsulation. *Journal of Microencapsulation* 13: 419-433.
- [43] Pinnamaneni, S., Das, N.G., Das, S.K., 2003. Comparison of oil-in-water emulsions manufactured by microfluidization and homogenization. *Pharmazie* 58:554-558.
- [44] McClements, D.J., 2009. Critical Review of Techniques and Methodologies for Characterization of Emulsion Stability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 47 (7): 611-649.
- [45] Stang, M., Schuchmann, H., Schubert, H., 2001. Emulsification in high-pressure homogenizers. *Engineering in Life Sciences* 1: 151-157.
- [46] Floury, J., Legrand, J., Desrumaux, A., 2004. Analysis of a new type of high pressure homogeniser. Part B. Study of droplet break-up and recoalescence phenomena. *Chemical Engineering Science* 59: 1285-1294.
- [47] Kolb, G., Viardot, K., Wagner, G., Ulrich, J., 2001. Evaluation of a new high-pressure dispersion unit (HPN) for emulsification. *Chemical Engineering and Technology* 24: 293-296.
- [48] Marie, P., Perrier-Cornet, J.M., Gervais, P., 2002. Influence of major parameters in emulsification mechanisms using a high-pressure jet. *Journal of Food Engineering*, 53: 43-51.
- [49] Behrend, O., Ax, K., Schubert, H., 2000. Influence of continuous phase viscosity on emulsification by ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry* 7: 77-85.
- [50] Eberth, K., Merry, J., 1983. A comparative-study of emulsions prepared by ultrasound and by a conventional method-Droplet size measurements by means of a Coulter-Counter and microscopy. *International Journal of Pharmaceutics* 14: 349-353.

- [51] Mason, T.J., 1999. *Sonochemistry*. Oxford University Press, New York.
- [52] Povey, M.J.W., Mason, T.J., 1998. *Ultrasound in food processing*. Blackie Academic & Professional, New York.
- [53] Canselier, J.R., Delmas, H., Wilhelm, A.M., Abismail, B., 2002. Ultrasound emulsification-An overview. *Journal of Dispersion Science and Technology* 23: 333-349.
- [54] Charcosset, C., Fessi, H., 2005. Membrane emulsification and microchannel emulsification processes. *Reviews in Chemical Engineering* 21: 1-32.
- [55] Charcosset, C., Limayem, I., Fessi, H., 2004. The membrane emulsification process-A review. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 79: 209-218.
- [56] Joscelyne, S. M., Tragardh, G., 2000. Membrane emulsification-A literature review. *Journal of Membrane Science* 169: 107-117.
- [57] Van der Graaf, S., Schroen, C.G.P.H., Boom, R.M., 2005. Preparation of double emulsions by membrane emulsification-A review. *Journal of Membrane Science* 251: 7-15.
- [58] Vladislavjevic, G.T., Williams, R.A., 2005. Recent developments in manufacturing emulsions and particulate products using membranes. *Advances in Colloid and Interface Science* 113: 1-20.
- [59] Patist, A., Bates, D., 2008. Ultrasonic innovations in the food industry: From the laboratory to commercial production. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 9(2): 147-154.
- [60] Jafari S. H., Assadpoor E., He Y., Bhandari B., 2010. Encapsulation efficiency of food flavours and oils during spray drying. *Drying Technology* 26(7): 816-835.
- [61] Mongenot, N., Charrier, S., Chalier, P., 2000. Effect of ultrasound emulsification on cheese aroma encapsulation by carbohydrates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48 (3):861-867.
-