

Mikroenkapsüle Kremada Uçucu Bileşiklerin Salınım Kinetiğinin İncelenmesi

Çağla Ulubaş

Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji
Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda
Mühendisliği Bölümü, Adana

Hande Altınsoy

Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji
Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda
Mühendisliği Bölümü, Adana

Zafer Erbay

Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji
Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda
Mühendisliği Bölümü, Adana

Mikroenkapsüle Kremada Uçucu Bileşiklerin Salınım Kinetiğinin İncelenmesi Özet

Süt yağı, özgün nitelikleriyle süt ürünlerinin ana bileşenlerinden birisi olmanın yanı sıra, gıda formülasyonlarında katkı olarak da kullanılmaktadır. Ancak süt yağının dayanımı düşüktür ve raf ömrünü arttırmak için süt yağına çeşitli işlemler uygulanmaktadır. Bu işlemlerden birisi mikroenkapsülasyondur. Mikroenkapsülasyon ile süt yağı çeşitli kaplama materyalleri ile kaplanmakta ve bozucu çevre koşullarına karşı yağın dayanımı artırılmaktadır. Bunun yanı sıra mikroenkapsülasyon, uçucu lezzet bileşiklerinin korunmasını ve kontrollü salınımını sağlar. Süt yağı, lezzet bileşiklerinin içinde çözündüğü bir ortam olma özelliği nedeni ile lezzet üzerine önemli etkilere sahiptir, ancak süt yağındaki lezzet bileşiklerinin korunumu/salınımı amacıyla enkapsülasyonuna yönelik çalışmalar literatürde sınırlıdır. Bu çalışmada, süt yağında doğal olarak bulunan veya lipoliz sonucu oluşma potansiyeli taşıyan, aroma aktif nitelikteki 5 farklı uçucu bileşik (2-heptanon, etil oktanoat, bütanoik asit, hegzanoik asit, delta-dekalakton) standart analitik kimyasallar kremaya ilave edilmiş ve maltodekstrin (DE18) ile sodyum kazeinat duvar materyalleri kullanılarak mikroenkapsüle edilmiştir. Kremanın mikroenkapsülasyonu sonrasında örneklerdeki uçucu bileşik salınımı analiz edilmiş ve salınım davranışında uçucu bileşiklerin özelliklerinin belirleyici olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Mikroenkapsülasyon, Salınım, Uçucu Bileşikler, Krema

Investigation Of Release Kinetics Of Volatile Compounds In Microencapsulated Cream

Abstract

In addition to being one of the main components of dairy products, milk fat is also used as an additive in several food formulations. However, the milk fat is perishable and various processes are applied to increase its stability. One of these processes is microencapsulation. Milk fat is covered with various coating materials via microencapsulation and durability of the milk fat against inconvenient environmental conditions increases. One other usage of microencapsulation is the protection and controlled release of volatile compounds. Milk fat is an important matrix for flavor compounds to dissolve whereas the studies on microencapsulation of milk fat for controlled release purposes are limited. In this study, 5 different aroma active volatile compounds (2-heptanone, ethyl octanoate, butanoic acid, hexanoic acid, delta-decalactone) were added to cream and maltodextrin (DE18) and sodium caseinate were used as wall materials to produce microencapsulated cream. The release of volatile compounds after the cream microencapsulation was investigated and it was found that the main factor in the release behavior was the characteristics of the volatile compounds.

Keywords: Microencapsulation, Release, Volatile compounds, Cream

1. Giriş

Mikroenkapsülasyon, hassas veya biyoaktif bir katı/sıvı/gaz bileşenin, damlacıklar veya taneçikler halinde, bir kaplama materyalinin oluşturduğu sürekli bir filmle hapsedilerek, bozucu etkenlerden (sıcaklık, nem, pH ve diğer bileşenlerle etkileşim) korunması işlemi olarak tanımlanmaktadır (Konstance vd., 1995; Moreau ve

Rosenberg, 1996; Keogh, 2005; da Silva vd., 2014; Himmetağaoğlu vd., 2019). Uçucu bileşiklerin enkapsülasyonu; aroma bileşiklerini korumanın veya maskeleyen aracı olarak kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra bu işlem, uçucu bileşiklerin ısıl ve oksidatif kararlılıklarını arttırmanın, aşırı uçucu olma durumlarını sınırlayarak hızlı salınımı kontrol etmenin ve düşük biyoyararlanımı geliştirmenin etkin bir yolu olarak da görülmektedir (Saitfullah vd., 2019).

Uçucu bileşiklerin çözündüğü temel matris yağdır ve hayvansal yağlar içerisinde süt yağı hem duyu ve fonksiyonel özellikleri, hem de endüstriyel önemi ile öne çıkmaktadır. Süt yağı sektörde büyük ölçüde krema halinde bulunur ve dayanımı çok olmayan bir üründür. Süt yağının dayanımını arttırmanın ve yağda çözünen uçucu lezzet bileşiklerini korunmanın en etkili tekniklerinden birisi mikroenkapsülasyondur. Ancak, mikroenkapsülasyon işlemi sonucunda depolama koşullarında lezzet bileşikleri korunurken, özgün lezzetin maskelenmemesi ve uygun ortamlarda bu lezzet bileşiklerinin kolaylıkla salınması gerekmektedir.

Literatür incelendiğinde, mikroenkapsülasyon uygulanmış örneklerdeki uçucu bileşiklerin salınımı üzerine çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda, farklı uçucu bileşiklerin, farklı gıda model sistemlerinde, farklı duvar materyalleri kullanılarak, çeşitli enkapsülasyon tekniklerinin uygulamaları ile elde edilen enkapsüle ortamlardaki salınım davranışları incelenmiştir (Roberts vd., 1996, 2003; Rabe vd., 2003; Terta vd., 2006; Seuvre vd., 2007; Herrera-Jimenez vd., 2007; Marcuzzo vd., 2010; Shiotoda vd., 2011; Samavati ve Djomeh., 20013; Dadalı ve Elmacı, 2019). Bunlara ek olarak, enkapsülasyon süreçlerinin modellenmesine yönelik çalışmalar da bulunmaktadır (Harrison vd., 1997).

Süt yağının mikroenkapsülasyonuna dair çeşitli çalışmalar bulunmakla beraber bu çalışmalar büyük ölçüde oksidasyona karşı raf ömrünün uzatılmasına yöneliktir ve bu şekilde ürün kalitesinin arttırıldığı görülmektedir (Onwulata vd.,

1996; Strange vd., 1997; Holsinger vd., 2000; Danviriyakul vd., 2002; Himmetağaoğlu vd., 2018; Himmetağaoğlu ve Erbay, 2019; Himmetagaoglu vd., 2020). Ancak, süt yağının ortam olarak kullanıldığı ve enkapsülasyonu sonrası uçucu salınımının incelendiği çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışmada, krema ortamında farklı uçucu bileşikler çözülmüş ve sonrasında krema mikroenkapsüle edildikten sonra bu bileşiklerin salınım özellikleri incelenmiştir.

2. Materyal ve Yöntemler

2.1. Hammadde ve Uçucu Bileşikler

Çalışma kapsamında kullanılan krema, yerel bir firmadan (Çay Çiftlik Süt Ürünleri, Adana) satın alınmıştır. Salınım kinetiklerinin belirlenmesi için 5 farklı standart uçucu bileşik mikroenkapsüle kremada kapsüllenmiştir (Tablo 1). Bu amaçla kullanılan standart bileşikler, süt yağında bulunma ve süt yağının lipolizi ile oluşma olasılığı bulunan, aroma aktif bileşikler arasından seçilmiştir. Uçucu bileşikler belirlenirken, farklı kimyasal gruplarda bulunmaları, farklı molekül ağırlıklarına ve kaynama noktalarına sahip olmaları esas alınmıştır.

Tablo1. Salınım kinetikleri incelenen uçucu bileşiklerin temel özellikleri

BİLEŞİK	TÜRLERİ	FORMÜL	MA ¹	KN ²
2-Heptanon	Metil Keton	$C_7H_{14}O$	114.19	149-150
Etil oktanoat	Etil Ester	$C_{10}H_{20}O_2$	172.27	206-208
Bütanoik asit	Asit	$C_4H_8O_2$	88.11	162-164
Hegzanoik asit	Asit	$C_6H_{12}O_2$	116.16	202-203
Delta-dekalakton	Lakton	$C_{10}H_{18}O_2$	170.25	281

¹ MA: Molekül ağırlığı (g/mol)

² KN: Kaynama noktası (°C)

2.2. Mikroenkapsüle Krema Üretimi

Krema mikroenkapsülasyonunda duvar materyali olarak sodyum kazeinat ile dekstroz eşdeğeri (DE) 18 olan maltodekstrin kullanılmıştır. Emülgatör olarak soya lesitini, stabilizör olarak sodyum sitrat, asitlik düzenleyici olarak sodyum fosfat ve topaklanmayı önleyici olarak da kalsiyum karbonat kullanılmıştır. Duvar materyalleri, emülsiyon toplam kuru maddesinin %30'unu oluşturacak şekilde ilave edilmiştir ve duvar materyali bileşiminin %20'sini sodyum kazeinat olmuştur.

Mikroenkapsüle kremada uçucu bileşiklerin salınımının belirlenmesi amacıyla kullanılmış olan standart uçucu bileşikler, mikroenkapsüle krema üretimi sırasında kremaya ilave edilmiştir. Yapılan ön denemelerde ilave edilecek uçucu bileşiklerin konsantrasyonlarının 9 µg/mL olmasına karar verilmiştir. Emülsiyon üretiminde kullanılacak olan emülgatör ile standart uçucu bileşikler krema içerisinde; duvar materyalleri, stabilizör, asitlik düzenleyici, topaklanmayı önleyici maddeler ise su içerisinde çözüldürülmüştür. Emülsiyonda kullanılacak kremanın sıcaklığı 50 °C, suyun sıcaklığı ise 60 °C'ye ayarlanmıştır. Karıştırma işlemi Ultra-Turrax (IKA, T25, Almanya) yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Karıştırma 8000 ve 12000 devirde birer dakika, 14000 devirde ise üç dakika olacak şekilde toplam 5 dakikada tamamlanmıştır (Himmetagaoglu vd., 2018).

2.3. Krema Analizleri

Çalışmada hammadde olarak kullanılmış olan kremanın kuru madde miktarı gravimetrik yöntemle (AOAC, 2012a), yağ içeriği ise Gerber yöntemiyle (AOAC, 2012b) belirlenmiştir.

2.4. Uçucu Bileşik Analizleri

Mikroenkapsüle krema örneklerindeki uçucu bileşikler Katı Faz Mikroekstraksiyon (Solid-Phase Microextraction, SPME) tekniği kullanılarak izole edilmiştir. Uçucu bileşiklerin tanımlanmasında ve miktarlarının belirlenmesinde Gaz Kromatografisi (GC) (Agilent 6890N, Agilent Technologies, Santa Clara, ABD) ve buna bağlı Kütle Spektrometresi (MS) (Agilent 5977A MSD, Agilent Technologies, Santa Clara, ABD) kullanılmıştır. Dengelenme, ekstraksiyon ve enjeksiyon aşamaları otomatik enjeksiyon modülü (GC Injector 80, Agilent Technologies, Santa Clara, ABD) tarafından gerçekleştirilmiştir. Ürüne ilave edilen uçucu bileşiklerin konsantrasyonları, dengeleme işleminin süre ve sıcaklığı, ekstraksiyon işleminin süre, sıcaklık ve karıştırma hızı ile ayırma işleminin gerçekleştirildiği kolon sıcaklık-süre programı çalışma kapsamında yapılan ön deneylerle belirlenmiştir.

Çalışmadaki sonuçlar doğrultusunda karar verilmiş olan dengeleme, ekstraksiyon ve GC-MS çalışma koşullarında, uçucu bileşiklerin salınımı incelenmiştir. Bu amaçla örnekler farklı sürelerde (her bir örnek için en az 8 farklı süre) proje çalışmasında elde edilen sonuçlarla belirlenmiş olan 40 °C sıcaklıkta bekletilmiştir. Üretimler 6 paralel yapılmıştır. Ekstraksiyon işleminde Divinilbenzen / Carboxen / Polidimetilsilokzan (DVB/CAR/PDMS, 50/30 µm, SF 23GA Auto, 57299-U, Sigma) ile kaplanmış fiber kullanılmıştır. Piklerin tanısında, uçucu bileşik standardı olarak emülsiyonlara ilave edilen standart bileşikler kullanılmıştır. Uçucu bileşiklerin miktarlarındaki değişimin belirlenmesi için pik alanları hesaplanmıştır.

3. Araştırma Bulguları ve Tartışma

3.1. Krema Bileşimi

Tedarik edilen kremanın kuru madde içeriği ve yağ oranı, mikroenkapsüle krema üretimindeki formülasyon açısından belirlenmiştir. Tedarik edilen kremanın yağ oranı, standart kremanın yağ oranından daha yüksek seçilmiştir. Yapılan analizler sonucunda kremanın nem içeriğinin %29.90 ± 0.74 ve yağ içeriğinin ise %66.33 ± 0.58 olduğu belirlenmiştir.

3.2. Standart Uçucu Bileşiklerin İlave ve Analiz Yönteminin Kesinleştirilmesi

Çalışma kapsamında 2-heptanon, etil oktanoat, bütanoik asit, hegzanoik asit ve delta-dekalakton bileşiklerinin salınımı incelenmiştir. Bu doğrultuda, analiz koşullarının belirlenmesinde minimum sürede analizin (dengeleme + ekstraksiyon + kolonda ayırma) tamamlanması, çalışma salınım amaçlı olduğunda özel olarak dengeleme ve enjeksiyon sürelerinin kısaltılması, hedef bileşiklerin piklerinin net ve birbirlerinden ayrılmış şekilde saptanabilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada Salum vd. (2017)'de belirtilen yöntem esas alınmış ve analize dair çeşitli işlem koşulları modifiye edilerek uygun analiz yöntemi belirlenmiştir. Bu kapsamda, öncelikle farklı kolon-sıcaklık programlarında standart bileşiklerin enjeksiyonu gerçekleştirilmiş ve minimum sürede aranan uçucu bileşiklerin ayrıştırılarak saptanabildiği koşullar belirlenmiştir. Orijinal yöntemde enjeksiyon sonrası kolonda geçirilen süre 30 dakika iken, yapılan değişikliklerle bu süre 14 dakikaya indirilebilmiştir. Belirlenen kolon programına göre, fırın sıcaklığı 40 °C'ye ayarlanmış ve 17 °C/dk artışla sıcaklık 244 °C'ye yükseltilmiş, bu sıcaklıkta 2 dakika işlem devam ettirilmiştir.

Sonrasında, çalışmada kullanılacak krema örneğinde doğal olarak bulunan uçucu bileşiklerle,

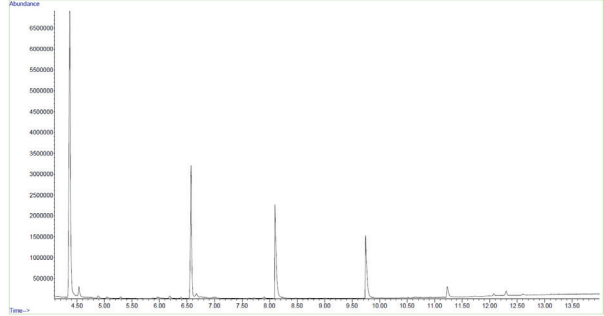
dışarıdan ilave edilen standart bileşikler arasında, kullanılan analiz koşullarında bir girişimin olup olmayacağını gözlemlemek üzere, belirlenmiş olan yöntemle çalışmada kullanılacak krema analiz edilmiştir. Kremadan elde edilen kromatogramla, standart bileşik analizi sonucunda elde edilen kromatogram üst üste çakıştırılmış ve incelenmiştir. Kremada bulunan uçucu bileşiklerin miktarının, standart enjeksiyon ile saptanan bileşiklerin miktarının yanında ihmal edilebilir düzeylerde kaldığı görülmüştür.

Daha sonra, mikroenkapsüle krema örneği ile ön üretim ve analizlere geçilmiştir. Bu kapsamda farklı konsantrasyonlarda uçucu bileşikler (0.1 ile 9 µg/mL aralığında), farklı çözügen ortamlarında (su ve metanol) hazırlanarak kremaya ilave edilmiş ve mikroenkapsülasyon işlemi Himmeagaoglu vd (2018)'e göre gerçekleştirilmiştir. Üretilmiş mikroenkapsüle krema örnekleri farklı sıcaklık koşullarında bekletilmiş (20-40 °C aralığında), farklı dengeleme sürelerinde analiz edilmiş (5-45 dakika aralığında) ve ilave edilmiş olan standart uçucu bileşiklerin analizde saptanmasına çalışılmıştır.

Yapılan denemelerde, stok standart çözeltilerin hazırlanmasında suyun kullanılması durumunda, uçucu bileşiklerin kremaya etkin şekilde aktarımın gerçekleştirilemediği görülmüş ve stok çözeltilerin metanolde hazırlanması uygun bulunmuştur. Ön denemelerde kremanın matrisinin düşük sıcaklıklarda uçucu salınımını geciktirdiği görülmüş ve süt yağının tamamen sıvı hale geçtiği kabul edilen sıcaklık olan 40 °C'de örneklerin dengelenmesine/bekletilmesine karar verilmiştir. Yine ön deneme ve analizlerde, üretimde kullanılan standart bileşik konsantrasyonunun 9 µg/mL olması uygun bulunmuştur. Örneklerdeki uçucu bileşiklerin 30 dakikalık ekstraksiyonla izole edilebildikleri ve ekstraksiyon sırasında karıştırma uygulamasının ekstraksiyonu olumsuz etkilediği belirlenmiştir.

Sonuç olarak, 9 mg/mL'lik standart çözeltiler 1/10 oranında metanolde çözdürüldükten sonra mikroenkapsüle kremada 0.009 mg/mL olacak şekilde krema ortamına ilave edilmiştir. Uçucu

bileşiklerin ekstraksiyonu 40 °C'de, 30 dakikada, karıştırma olmaksızın gerçekleştirilmiş, ekstraksiyon sonrası bileşiklerin kolonda etkin ayrılması için 14 dakikalık bir kolon programı kullanılmıştır. Kremada yapılan ön deneme sonucunda elde edilen kromatogram Şekil 1'de gösterilmiştir.

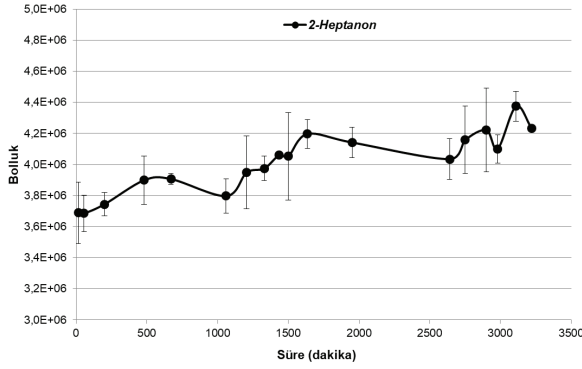


Şekil 1. Karar verilen koşullarda standart bileşik ilave edilen kremanın uçucu bileşik analiz kromatogramı.

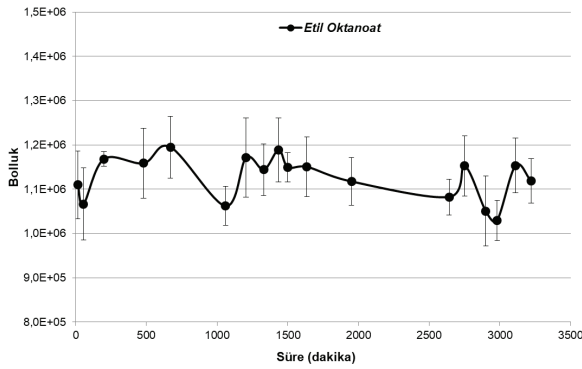
3.3. Mikroenkapsüle Kremada Uçucu Bileşiklerin Salınımı

Çalışmada ön üretim ve denemelerde belirlenmiş koşullarda mikroenkapsüle krema örnekleri üretilmiş ve farklı sürelerde 40 °C'de bekletildikten sonra uçucu bileşikler analiz edilmiştir. Uçucu bileşik salınımının zamanla değişimi Şekil 2-6'da verilmiştir.

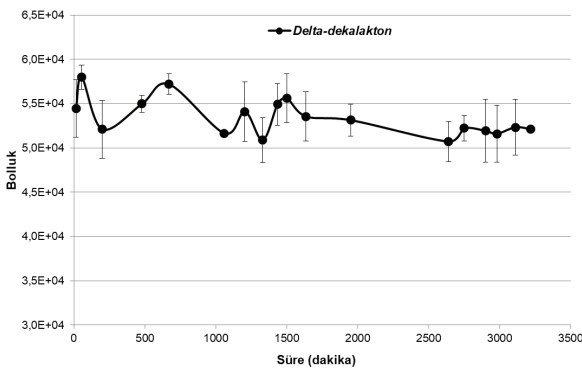
Üretilmiş olan mikroenkapsüle krema örneklerinin tepe boşluğunda saptanan 2-heptanon bileşiğinin salınımında zamanla kısmi bir artış görülmektedir (Şekil 2). Bu artış mikroenkapsülasyon işlemi ile uçucu bileşiğin kaplanabildiğini göstermekle beraber, başlangıçta yüksek miktarda 2-heptanon saptanmış olması, enkapsülasyonun düşük bir etkinlikle başarılı olduğunu göstermektedir. Etil oktanoat bileşiğinin zamana bağlı miktarlarında değişiklik görülmektedir (Şekil 3). Benzer bir durum, zamanla delta-dekalakton bileşiğinin salınımına dair elde edilen grafikte de görülmektedir (Şekil 4). Bu grafikler, bu iki uçucu bileşiğin (2-heptanon ve delta-dekalakton) salınımının zamanla değişmediğini, bir başka ifadeyle bu uçucu bileşiklerin uygulanan yöntemle enkapsüle edilemediğini göstermektedir.



Şekil 2. Mikroenkapsüle kremanın 40 °C'de bekletilmesi sürecinde, ilave edilen 2-heptanon bileşiğinin değişimi grafiği.



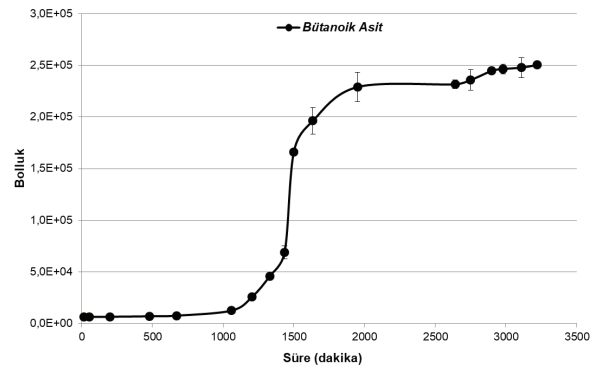
Şekil 3. Mikroenkapsüle kremanın 40 °C'de bekletilmesi sürecinde, ilave edilen etil oktanoat bileşiğinin değişimi grafiği.



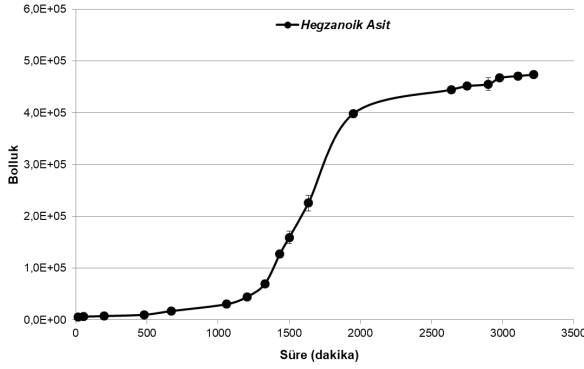
Şekil 4. Mikroenkapsüle kremanın 40 °C'de bekletilmesi sürecinde, ilave edilen delta-dekalokton bileşiğinin değişimi grafiği.

Çalışma kapsamında incelenen uçucu asit bileşiklerinin zamanla salınım davranışlarının, diğer bileşiklerin tamamından farklı olduğu görülmüştür. Bütanoik asitin mikroenkapsüle kremada zamanla salınımı Şekil 5'te, hegzanoik asiti salınımı ise Şekil 6'da verilmiştir. Bütanoik asidin salınım grafiğine bakıldığında, tepe boşluğunda saptanan bütanoik asit bileşiğinin miktarının 1100. dakikaya kadar yok denecek kadar az olduğu, ancak 1100.dakikadan sonra salınımında ani bir artış olduğu görülmektedir. Tepe boşluğundaki bütanoik asit miktarı 1900.dakikadan sonra sabitlenmiştir. Çok benzer şekilde, hegzanoik asit salınımı da 1100.dakikaya kadar çok düşük düzeylerde gözlemlenmiş, bu süreden sonra ani şekilde salınım artmış ve 1950.dakikaya kadar artarak devam edip, sonrasında kararlı hale geçmiştir.

Analizler sonucunda yapılan bir diğer gözlem de uçucu asitlerin salınımının keskin yükselişi ile mikroenkapsüle kremada emülsiyonun bozularak faz ayrımının görülebilir hale gelme zamanlarının örtüşmesidir. Bir başka ifadeyle, oluşan emülsiyonun bozulması ile uçucu asitlerin salınımı artmıştır. Bu durum da mikroenkapsüle kremada incelenen iki uçucu asit bileşiğinin (bütanoik asit ve hegzanoik asit) oldukça etkin şekilde enkapsüle edilebildiğini, mikroenkapsülasyon sağlayan emülsiyon yapısının dağılmasıyla beraber ise bu enkapsüle edilmiş uçucu bileşiklerin çok hızlı şekilde salındıklarını göstermektedir.



Şekil 5. Mikroenkapsüle kremanın 40 °C'de bekletilmesi sürecinde, ilave edilen bütanoik asit bileşiğinin değişimi grafiği.



Şekil 6. Mikroenkapsüle kremanın 40 °C'de bekletilmesi sürecinde, ilave edilen hegzanoik asit bileşiğinin değişimi grafiği.

4. Sonuç

Yapılan çalışmada kullanılan 5 uçucu bileşik-ten ikisinin (etil oktanoat ve delta-dekalakton) zamanla salınımında anlamlı herhangi bir değişim saptanamamasından ötürü, yapılan işlemle enkapsüle edilemediği belirlenmiştir. Diğer bir uçucu bileşiğin ise (2-heptanon) başlangıçta önemli ölçüde salınmasına karşın, salınımının zamanla hafif şekilde arttığı saptanmış ve bu durum bileşiğin düşük düzeyde enkapsüle edilebildiği şeklinde yorumlanmıştır. Çalışma kapsamında incelenen 2 uçucu asit bileşiğinin (bütanoik asit ve hegzanoik asit) ise başlangıçta belirgin bir salınım göstermezken, emülsiyonun bozulması ile beraber ani ve hızlı bir şekilde salındığı belirlenmiş, bu bileşiklerin uygulanan yöntemlerle etkin şekilde enkapsüle edilebildiği görülmüştür. Özetle, uygulanan enkapsülasyon yönteminde farklı uçucu bileşiklerin salınımlarının değişkenlik gösterdiği ve benzer kimyasal özelliklere sahip bileşiklerin benzer şekillerde salındığı belirlenmiştir.

Teşekkür

Yazarlar "Mikroenkapsüle kremada uçucu bileşiklerin salınım kinetiğinin belirlenmesi" başlıklı projeye, 2209/A kodlu "Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destek Programı" kapsamındaki mali desteğinden ve ilgisinden dolayı TÜBİ-

TAK'a (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) teşekkür etmektedir. Ayrıca yazarlar, uçucu bileşik analiz yönteminin belirlenmesi sürecindeki yardımlarından ötürü Pelin Salum'a teşekkür eder.

Referans

AOAC International. 2012a. "Solids (Total) in Cream". Official Method 920.107. Official Methods of Analysis of AOAC International (19. Basım). Editör: Latimer Jr., G.W. Gaithersburg, MA: AOAC International.

AOAC International. 2012b. "Fat Content of Raw and Pasteurized Whole Milk, Gerber Method by Weight". Official Method 2000.18. Official Methods of Analysis of AOAC International (19. Basım). Editör: Latimer Jr., G.W. Gaithersburg, MA: AOAC International.

Da Silva, P.T., Fries, L.L.M., Menezes, C.R., Holkem, A.T., Schwan, C.L., Wigmann, É.F., Bastos, J.O., da Silva, C.B. 2014. "Microencapsulation: concepts, mechanisms, methods and some applications in food technology". *Ciência Rural*, Santa Maria, 44, 7, 1304-1311.

Dadalı, C., Elmacı, Y. 2019. "Characterization of volatile release and sensory properties of model margarines by changing fat and emulsifier content", *European Journal of Lipid Science and Technology*, 121, 1900003.

Danviriyakul, S., McClements, D.J., Nawar, W.W., Chinachoti, P. 2002. "Physical stability of spray-dried milk fat emulsion as affected by emulsifiers and processing conditions", *Journal of Food Science*, 67(6), 2183-2189.

Harrison, M., Hills, B.P., Bakker, J., Clothier, T. 1997. "Mathematical models of flavor release from liquid emulsions", *Journal of Food Science*, 653-664.

Herrera-Jiménez, M., Escalona-Buendía, H., Ponce-Alquicira, E., Verde-Calvo, R., Guerrero-Legarreta, I. 2007. "Release of five indicator volatiles from a model meat emulsion to study phase contribution to meat aroma", *International Journal of Food Properties*, 10(4), 807-818.

- Himmetagaoglu, A.B., Erbay, Z., Cam, M. 2018. "Production of microencapsulated cream: impact of wall materials and their ratio", *International Dairy Journal*, 83, 20-27.
- Himmetagaoglu, A.B., Erbay, Z. 2019. "Effects of spray drying process conditions on the quality properties of microencapsulated cream powder". *International Dairy Journal*, 88, 60-70.
- Himmetagaoglu, A.B., Erbay, Z., Çam, M. 2019. "Süt yağının toza dönüştürülmesi ve krema tozu". *Akademik Gıda*, 17(1), 72-80.
- Himmetagaoglu, A.B., Berktas, S., Cam, M., Erbay, Z. 2020. "Optimisation of spray drying process in microencapsulated cream powder production", *Journal of Dairy Research*, 87, 375-378.
- Holsinger, V.H., McAloon, A.J., Onwulata, C.I., Smith, P.W. 2000. "A cost analysis of encapsulated spray-dried milk fat", *Journal of Dairy Science*, 83, 2361-2365.
- Keogh, M.K. 2005. "Spray-dried microencapsulated fat powders". *Encapsulated and Powdered Foods*. Editör: Onwulata, C. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Konstance, R.P., Onwulata, C.I., Holsinger, V.H. 1995. "Flow properties of spray-dried encapsulated butteroil", *Journal of Food Science*, 60(4), 841-844.
- Marcuzzo, E., Sensidoni, A., Debeaufort, F., Voilley, A. 2010. "Encapsulation of aroma compounds in biopolymeric emulsion based edible films to control flavour release", *Carbohydrate Polymers*, 80, 984-988.
- Moreau, D.L., Rosenberg, M. 1996. "Oxidative stability of anhydrous milk fat microencapsulated in whey proteins", *Journal of Food Science*, 61(1), 39-43.
- Onwulata, C.I., Smith, P.W., Cooke, P.H., Holsinger, V.H. 1996. "Particle structures of encapsulated milk fat powders", *LWT - Food Science and Technology*, 29, 163-172.
- Rabe, S., Krings, U., Berger, R.G. 2003. "Dynamic flavor release from sucrose solutions", *Journal of Agricultural Food and Chemistry*, 51, 5058-5066.
- Roberts, D.D., Elmore, J.S., Langley, K.R., Bakker, J. 1996. "Effects of sucrose, guar gum and carboxymethylcellulose on the release of volatile flavor compounds under dynamic conditions", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44, 1321-1326.
- Roberts, D.D., Pollien, P., Watzke, B. 2003. "Experimental and modeling studies showing the effect of lipid type and level on flavor release from milk-based liquid emulsions", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 189-195.
- Saitfullah, M., Shishir, M.R.I., Ferdowsi, R., Rahman, M.D., Vuong, Q.V. 2019. "Micro and nanoencapsulation, retention and controlled release of flavor and aroma compounds: A critical review", *Trends in Food Science & Technology*, 86, 230-251.
- Samavati, V., Djomeh, Z.E. 2013. "Multivariate-parameter optimization of aroma compound release from carbohydrate-oil-protein model emulsions", *Carbohydrate Polymers*, 98, 1667-1676.
- Seuvre, A.M., Philippe, E., Rochard, S., Voilley, A. 2007. "Kinetic study of the release of aroma compounds in different model food systems". *Food Research International*, 40, 480-492.
- Shiota, M., Isogai, T., Iwasawa, A., Koreta, M. 2011. "Model studies on volatile release from different semisolid fat blends correlated with changes in sensory perception", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 350-1165.
- Strange, E.D., Konstance, R.P., Lu, D., Smith, P.W., Onwulata, C.I., Holsinger, V.H. 1997. "Oxidative and functional stability during storage of butter oil encapsulated with sucrose or flour", *Journal of Food Lipids*, 4, 245-260.
- Terta, M., Blekas, G., Paraskevopoulou, A. 2006. "Retention of selected aroma compounds by polysaccharide solution: A thermodynamic and kinetic approach", *Food Hydrocolloids*, 20, 863-871.