



ÇİLEK AROMASININ DEPOLAMA KARARLILIĞI ÜZERİNE PÜSKÜRTEREK KURUTMA YÖNTEMİYLE ENKAPSÜLASYON İŞLEMİNİN ETKİSİ VE MİKROKAPSÜLLERİN MODEL GIDALARDA ETKİNLİĞİNİN BELİRLENMESİ

Ferhan Balcı-Torun*, Feramuz Özdemir

Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, , Antalya, Türkiye

Geliş / *Received*: 14.03.2021; Kabul / *Accepted*: 05.05.2021; Online baskı / *Published online*: 10.05.2021

Balcı-Torun, F., Özdemir, F. (2021). Çilek aromasının depolama kararlılığı üzerine püskürterek kurutma yöntemiyle enkapsülasyon işleminin etkisi ve mikrokapsüllerin model gıdalarda etkinliğinin belirlenmesi. *GIDA* (2021) 46 (3) 751-765 doi: 10.15237/gida. GD21070

Balcı-Torun, F., Özdemir, F. (2021). Influence of the spray-drying encapsulation on the storage stability of strawberry aroma and efficiency of microcapsules in model foods. GIDA (2021) 46 (3) 751-765 doi: 10.15237/gida. GD21070

ÖZ

Çalışmada sıvı çilek aroması püskürterek kurutma yöntemiyle enkapsüle edilmiş ve elde edilen mikrokapsüllerin depolama stabilitesi ve model gıdalarda kullanım etkinliği belirlenmiştir. Bu amaçla mikrokapsüller farklı sıcaklıklarda (4 ve 25 °C) 60 gün süre ile depolanmış ve aroma salınımı, nem miktarı, su aktivitesi, kitle yoğunluğu ve parçacık boyutu dağılımı analizleri yapılmıştır. Ayrıca ticari sıvı ve enkapsüle çilek aromaları kullanılarak üretilen çikolata ve keklerde duyu analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçları enkapsülasyon işleminin aroma salınımını yaklaşık %50 oranında azalttığını, düşük sıcaklıklardaki depolamanın aroma korunumunu daha iyi sağladığını göstermiştir. z mikrokapsüllerin nem miktarı, su aktivitesi ve parçacık boyutu değerleri depolama süresi ile birlikte artış gösterirken, kitle yoğunluğu değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Duyusal analiz sonucunda enkapsüle çilek aromaları ile üretilen çikolata ve keklerin koku, tat, aroma ve genel beğeni açısından sıvı formda aroma kullanılarak üretilen ürünlere göre daha çok beğenildiği belirlenmiştir. Sonuçlar enkapsülasyon işleminin depolama stabilitesini arttırmasının yanında katkılандığı gıdaların işlenmesi sırasındaki kararlılıklarını da geliştirdiğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Aroma, çilek, enkapsülasyon, püskürterek kurutma, depolama, model gıda

INFLUENCE OF THE SPRAY-DRYING ENCAPSULATION ON THE STORAGE STABILITY OF STRAWBERRY AROMA AND EFFICIENCY OF MICROCAPSULES IN MODEL FOODS

ABSTRACT

In this study, it was aimed to investigate the storage stability and usage into model foods of strawberry aroma microcapsules obtained by spray-drying method. Accordingly, microcapsules were stored at different temperatures (4 and 25 °C) for 60 days and aroma release, moisture content, water activity, bulk density and particle size distribution analyses were performed. Sensory analysis was performed on chocolate and cakes produced with liquid form and encapsulated strawberry flavors. While the moisture content, water activity and particle size values of the powder microcapsules increased by

* Yazışmalardan sorumlu yazar / *Corresponding author*;

✉ ferhan85@hotmail.com,

☎ (+90) 242 310 6520

☎ (+90) 242 310 6306

Ferhan Balcı-Torun; ORCID no: 0000-0002-8972-1087

Feramuz Özdemir; ORCID no: 0000-0001-6618-2896

the storage time, bulk density value decreased. As a result of the sensory analysis, it was determined that chocolate and cakes produced with encapsulated strawberry flavors were more appreciated than the products produced using aroma in liquid form. These results indicated that the encapsulation process not only increases the storage stability in terms of flavor, but also improves the stability during processing of the foods.

Keywords: Aroma, strawberry, encapsulation, spray drying, storage, model food

GİRİŞ

İnsanoğlunun gıdaların tat, lezzet ve aromasını korumak ve geliştirmek için yüzyıllardır sürdürdüğü çabası günümüzde de artarak devam etmektedir. Bu amaçla özellikle gıdaların işlenmesi ve depolanması sürecinde azalan, değişen veya oluşan tat ve aromanın gıdaya kazandırılması amacıyla gıda katkıları olarak aroma maddeleri kullanılmaktadır (Torun ve Özdemir, 2011). Aroma bileşenleri oda sıcaklığında uçucu fazında olan ve burun boşluğundaki koku reseptörleri ile etkileşime giren uçucu moleküller olarak tanımlanmaktadır (Zuidam ve Heinrich, 2010). Birçok uçucu organik molekülden oluşan aroma maddeleri 50-600 Da aralığında değişen düşük molekül ağırlığına sahip olup, alkoller, karboniller, asitler, esterler, laktonlar ve fenoller gibi bileşenlerin farklı reaksiyonları sonucu meydana gelmektedir (Atak, 2018). Amino asitlerden oluşan aldehit ve ketonlar ile bunların dönüşümü esnasında meydana gelen alkoller aroma oluşumunda önemli rol oynamaktadır. Aroma maddelerinden bir diğer önemli grubu olan esterler ise genellikle meyvelerin karakteristik aroma tanımlamasından sorumludur. Örneğin etil esterleri “etil asetat” bileşeninden başlayıp uzun zincirlerle “etil lorat” bileşenine kadar devam eden meyve aromasından ve aromanın yoğunluğundan sorumlu bileşenlerdir (Rowe, 2005; Gonçalves vd., 2018).

Geçmişte bitkisel kaynaklardan özütlenerek kullanılan aroma maddeleri, yapılarının belirlenmesiyle birlikte kimyasal olarak sentezlenmeye başlanmıştır. Günümüzde kullanılan aroma katkılarının %80'inden fazlası sentetik olarak elde edilmektedir (Longo ve Sanroman, 2006). Tüketime sunulan işlenmiş gıdalar incelendiğinde, bunların birçoğunda çilek, muz, karpuz, vanilya, nane, limon, fındık, kahve ve kakao gibi aroma maddelerinin kullanıldığı görülmektedir. Bunlar arasında çilek aromasının yaygın olarak kullanıldığı dikkat çekmektedir.

Çilek aromasında 300'den fazla aroma bileşeninin bulunduğu ve ana bileşenlerinin esterler, asitler, aldehitler, alkoller ve terpenlerden meydana geldiği görülmüştür (Zabetakis ve Holden, 1997). Aromaya katkıda bulunan diğer gruplar arasında kükürt bileşikleri, asetaller, furanlar, fenoller, epoksitler ve hidrokarbonlar bulunmaktadır. Bunlar arasında metil, etil ester, furanonlar, C6-bileşiği aldehitleri ve C6-türevi bileşikler, çilek aromasından sorumlu aroma maddeleri olarak kabul edilmektedir (Schieberle ve Hofmann, 1997; Zabetakis ve Holden, 1997; Zabetakis vd., 1999; Pelayo vd., 2003).

Aroma maddeleri fiziksel özelliklerine göre çeşitlilik göstermekle birlikte genellikle katı, sıvı veya macunumsu formda olup fiziksel formu genellikle katılanacak ürüne uygunluğu veya kullanım amacına göre değişmektedir. Sıvı formdaki bir ürüne katı formda bulunan bir aroma, kuru toz bir ürün karışımında da sıvı aroma maddesinin kullanımında teknolojik sıkıntılar yaşanabilmektedir. Gıda katkı maddeleri arasında fiyatları oransal olarak yüksek olan aroma maddelerinin depolama stabilitelerini arttırmak, işlenmeleri ve tüketimleri sırasındaki salınımlarının kontrolünü sağlamak oldukça önemlidir. Son yıllarda, gıda endüstrisinde oksijen, nem, sıcaklık, ışık ve benzeri çevre koşullarına karşı koruma sağlayan ve aktif bileşenin doğru yerde, doğru zamanda kontrollü salınımına olanak veren enkapsülasyon uygulamaları gittikçe yaygınlaşmaktadır. Özellikle gıda etken bileşenlerinin, renk maddelerinin, enzimlerin, vitaminlerin, minerallerin, aroma gibi katkı maddelerinin ve yararlı mikroorganizmaların enkapsülasyonuna yönelik çalışmaların yapıldığı görülmektedir (Gibbs vd., 1999; Zuidam ve Heinrich, 2010; Zhu vd., 2012). Hassas bir maddenin veya karışımın, koruyucu bir kabuk veya duvar oluşturabilen başka bir maddenin veya karışımın içerisine hapsedilmesi veya tutulması olarak tanımlanan enkapsülasyon işlemi

püskürterek kurutma, püskürterek soğutma, dondurarak kurutma, ekstrüzyon kaplama, akışkan yatakta kaplama, lipozoma hapsedme ve koaservasyon gibi farklı tekniklerle yapılabilmektedir (Madene vd., 2006). Gıda endüstrisinde aroma maddelerinin enkapsülasyonunda kullanılan teknikler içinde en yaygın olanı püskürterek kurutma yöntemidir. Sürekli üretim olanağı, ekipman kullanımının kolaylığı, düşük maliyet, geniş taşıyıcı madde seçimi, uçucu bileşenlerin iyi tutulması ve son ürün stabilitesi bu yöntemin en çok tercih edilme nedenleridir (Re, 1998; Jimenez vd., 2004; Rodriguez-Huezo vd., 2004). Püskürterek kurutmada kapsüllenecek olan aroma damlacıklarının, küresel partiküllerin katı çepeleri içinde hapsedilmesi amaçlanmaktadır. Bu işlem, kaplama materyali belli bir konsantrasyonun üzerinde iken, uçucu bileşiklerin partikül yüzeyine kadar yeterince hareket edemeyeceği ve atmosfere salınmayacağı teorisi üzerine kurulmuştur. Bu nedenle püskürterek kurutma esnasında su ortamdan uzaklaşırken, taşıyıcı madde yüzeyde konsantre olmakta ve yüzeyde ileri derecede aroma kaybını önlemek üzere etkili bir sızdırmazlık oluşturmaktadır (Bhandari ve Howes, 1999; Zeller vd., 1999; Kargel, 2000). Püskürterek kurutma ile elde edilen mikrokapsüllerin boyutu 0.2- 5000 µm arasında değişmekte olup, kullanılan kapsülleme materyaline ve hazırlanma prosedürüne bağlı olarak mikrokapsüller çok farklı şekilde oluşabilmektedir (Krishnan vd., 2005). Mikrokapsülasyon işleminde kullanılacak olan kaplama materyali seçimi işlemin başarısını etkileyen önemli bir unsur olmakla birlikte; kaplama materyali çekirdek materyalini dış etkilere karşı bariyer görevi görerek korumak ve herhangi başka bir bileşenle reaksiyona girmesini engellemekle görevlidir. Bununla birlikte kaplama istenilen çözgüde çözünebilmeli ve çekirdek materyalini çok iyi kaplayarak hem ürünün işlenmesi hem de depolanması sırasında koruyabilme özelliğine sahip olmalıdır. Aynı zamanda istenilen koşullarda çekirdek materyalinin salınımını kolaylaştırırken, düşük maliyetli, tatsız ve temini kolay olmalıdır. Ancak bütün bu özelliklerin tek bir materyal ile sağlanması oldukça güç olduğu için

enkapsülasyon işleminde farklı kaplama materyallerinin bir arada kullanılması önerilmektedir (Koç vd., 2010). Maltodekstrin ve modifiye nişasta gibi karbonhidratlar taşıyıcı madde veya duvar materyali olarak sıklıkla kullanılan, ucuz, yüksek konsantrasyonlarda düşük viskozite gösteren, yüksek çözünürlüğe sahip, oksidasyona duyarlı maddelerdir. Halkalı yapıdaki oligosakkaritler olan siklodekstrinler, gıda endüstrisinde pek çok kullanım alanı bulunmakla birlikte, özellikle aroma ve renk maddelerinin, vitaminlerin ve doymamış yağların kapsüllemesi, ayrıca gıdaların duyu ve besleyici özelliklerinin artırılması için kullanılmaktadır. Bitki salgısı olan arabik gam suda son derece iyi çözünebilmesi (\geq %50) nedeniyle diğer doğal gam maddelerinden ayrılmaktadır. Arabik gam gıdalarda özellikle aroma koruyucu, köpük stabilizatörü, bağlayıcı, emülgatör ve stabilizatör olarak kullanılmaktadır (Burdock, 1998). Modifiye nişastalar, yapısına lipofilik süksinik asit eklenerek emülsifiye edici özellik kazandırılmış hidrolize nişastalardır. Modifiye nişastalar, yapışkanlık, bağlama, kaplama, toparlama, emülsiyon stabilizasyonu, jelleşme, şeffaflık, nem tutma, stabilizasyon ve kıvam artırıcılık gibi özelliklerinden dolayı gıdalarda sıklıkla tercih edilmektedir (Karaoğlu ve Kotancılar, 1998).

Literatürde çilek aromasının püskürterek kurutma yöntemiyle enkapsülasyonu konu alan az sayıda çalışma (Pellicer vd., 2018; Balcı-Torun ve Özdemir, 2021) mevcut olup, püskürterek kurutulmuş toz aroma mikrokapsüllerinin depolama stabilitesinin incelendiği bir çalışmaya ise rastlanılmamıştır. Nitekim bu makalede tarafımızdan yapılan çalışma sonucunda (Balcı-Torun ve Özdemir, 2021) belirlenen optimum şartlarda üretilen toz çilek mikrokapsüllerinin depolama stabilitesinin ve bazı model gıdalardaki kullanımının araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla %16.12 modifiye nişasta, %9.76 arabik gam, %4.12 çözünür lif, %1 β -siklodekstrin taşıyıcı madde karışımı kullanılarak, 190 °C giriş sıcaklığında kurutulmuş üretilen toz çilek mikrokapsülleri farklı 2 sıcaklıkta (4 ve 25 °C) 60 gün süreyle depolanmış ve depolama periyodunda örneklerin aroma salınımları ile su aktivitesi, nem

değeri, kitle yoğunluğu ve parçacık boyutundaki değişimler incelenmiştir. Ayrıca üretilen mikrokapsüllerle çikolata ve kek üretimleri yapılarak ürünlerin beğeni durumları da belirlenmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Çalışma kapsamında kullanılan doğal sıvı aroma maddesi Aromsa Besin Aroma ve Katkı Maddeleri Sanayi Ticaret A.Ş. (Gebze, Kocaeli) firmasından temin edilmiştir. Enkapsülasyon işleminde kullanılan taşıyıcı materyaller olan maltodekstin ve Nutriose çözünür lif, Cleargum modifiye nişasta “Roquette Frères” (Lestrem, Fransa) firmasından, model gıda üretiminde kullanılan çikolata ise Callebaut (Belçika) firmasından temin edilmiştir. Analizlerde kullanılan diğer kimyasallar analitik saflıkta Sigma-Aldrich’ den (Darmstadt, Almanya) temin edilmiştir.

Enkapsülasyon işlemi

Çilek aromasının enkapsülasyon işlemi Balcı-Torun ve Özdemir (2021)’in belirttiği optimum şartlara göre mini püskürtmeli kurutucuda (Büchi Mini Spray Dryer B-290, Flawil, İsviçre) gerçekleştirilmiştir. Kurutma işleminde taşıyıcı madde karışımı %31 (ağırlık/hacim) olarak hazırlanmış, bu karışıma kuru maddenin %10’ u kadar çilek aroması ilave edilmiştir. Taşıyıcı madde karışımını ise %16.12 modifiye nişasta, %9.76 arabik gam, %4.12 çözünür lif ve %1 β-siklodekstrin oluşturmuş olup su içerisinde çözündürülmüştür. Kurutma öncesinde karışım 17000 d/dk hızda 5 dakika süreyle homojenizatör yardımı ile (Ultraturrax T25 Basic Staufen, Almanya) homojenize edilmiştir. Elde edilen karışım hava giriş sıcaklığı 190 °C, ürün çıkış sıcaklığı 75-80 °C, besleme hızı 5-8 mL/dk ve aspirasyon hızı 30 m³/sn koşullarında püskürtmeli kurutucuyla toz ürüne dönüştürülmüştür.

Aroma mikrokapsüllerinin depolanması

Çilek aroması mikrokapsülleri ve enkapsülasyon işlemi uygulanmamış sıvı formdaki aromalar (kontrol örnekleri) amber renkli cam kavanozlara, her bir kavanoza 15’ er gram olacak şekilde koyularak örnekler 4 ve 25 °C sıcaklıkta 2 ay süre depolanmıştır. Depolamanın 0., 15., 30. ve 60.

günlerinde alınan örneklerde nem miktarı, su aktivitesi, aroma profili, partikül boyutu ve yığın yoğunluğu analizleri , sıvı örnekte ise aroma analizi yapılmıştır.

SPME/GC-MS ile aroma analiz koşulları

Sıvı ve toz formdaki örneklerin aroma analizleri Balcı-Torun ve Özdemir (2021) tarafından belirtilen analiz şartları kullanılarak, GC-MS (QP2010-Ultra, Shimadzu, Kyoto, Japonya) cihazı ile yapılmış, analiz sırasında cihazın Katı Faz Mikroekstraksiyon tekniği (SPME) kullanılarak ekstraksiyon ünitesi (AOC-5000Auto Sampler, Shimadzu, Kyoto, Japonya) kullanılmıştır. Aroma analiz sonuçları % alan cinsinden hesaplanmış olup, uçucu bileşenlerinin tanımlanması C₇-C₂₄ alkan standardının metotta yürütülmesi ile elde edilen tutunma indeksi (Kovats’Index) sonuçları ile cihaz yazılımı (GC-MS solution 5.60) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca yazılım tarafından tanımlanan bileşenlerin kontrolünde bilimsel makaleler ile Wiley 10 ve NIST 02 kütüphanelerindeki alıkonma indekslerinden de yararlanılmıştır.

Örneklerin aroma profil analizi 100µm PDMS fiber ile SPME metoduna göre yapılmıştır. SPME metodunda işlem sıcaklığı 40 °C, ekstraksiyon süresi 15 dakika, karıştırma hızı 250 d/dk (5 s açık, 2 s kapalı), desorpsiyon süresi ise 10 dakika olarak ayarlanmıştır. GC-MS analizinde TRB5-MS (30 m x 0.25 mm x 0.25 µm) kolon kullanılmış olup fırın sıcaklık programı 40 °C’de 5 dk bekleme, 4 °C/dk artışla 100 °C’ ye yükselme ve bu sıcaklıkta 3 dk bekleme, 10 °C/dk artışla 200 °C’ ye yükselme ve bu sıcaklıkta 3 dk bekleme olarak belirlenmiştir. GC-MS’ te dedektör sıcaklığı 275 °C, taşıyıcı gaz helyum (1.78 mL/dk), enjeksiyon ve iyon kaynağı sıcaklığı 200 °C, kütle aralığı 30-500 m/z ve tarama hızı 1000 kütle/s’ dir. Çizelge 1’de çilek aromasının ve aroma mikrokapsüllerinin değerlendirilmesinde kullanılan bileşenler ve bileşenlerin literatürde yapılan tanımlamaları verilmiştir (Jetti vd., 2007; Galmarini vd., 2011; Schieberle vd., 2015; Balcı-Torun ve Özdemir, 2021). Sıvı çilek aromasında ve aroma kapsüllerinde depolama süresindeki değişiminin incelenmesinde bu başlıca bileşenler göz önünde bulundurulmuştur.

Çizelge 1. Çilek aromasında tanımlanan bileşenler (Jetli vd. 2007; Galmarini vd. 2011; Schieberle vd. 2015; Balci-Torun ve Özdemir 2021)

Table 1. Flavor components described in strawberry (Jetli et al. 2007; Galmarini et al. 2011; Schieberle et al. 2015; Balci-Torun and Özdemir 2021)

Bileşen Compound	Aroma tanımlaması Definition
1-Hexanol	Meyvemsi, tatlı, yeşilimsi koku
2-Hexanol	Meyvemsi, tatlı, muz,
2-Hexen-1-ol, acetate	Meyvemsi, elma, armut, ekşi
3-Hexen-1-ol	Tatlı yeşil, hafif meyveli
3-Hexen-1-ol, acetate	Meyvemsi, muz, elma, armut, tropik
Ethyl butanoate*	Meyveli, çilek, elma kayısı, muz erik
Ethyl 2-metylbutanoate*	Meyveli, taze, meyve, üzüm, ananas, çilek mango ve kiraz notaları
Ethyl 3-metylbutanoate*	Tatlı, meyveli, keskin, ananas, çilek, elma yeşili portakal
Ethyl hexanoate*	Tatlı, meyveli, ananas, çilek, yağlı ve yeşil muzlu bir nüans
1-Butanol, 3-methyl-, acetate*	Tatlı, çilek, muz, olgun meyve
Ethyl pentanoate*	Meyveli, çilek, tatlı, ananas ve tropikal meyveler
Hexyl acetate*	Meyveli, yeşil, elma, muz, tatlı
Limonene	Turunçgil, portakal, taze, tatlı
Isoamyl isovalerate*	Tatlı, meyveli, muz, çilek
Hexanal Propylene Glycol Acetal	Tatlı, meyveli, mumsu, yeşil, ananas
2-Propenoic acid, 3-phenyl-, methyl ester*	Tatlı çilek, kiraz
Isobutyric acid	Tereyağı; çilek
Benzyl benzoate	Balzemik, meyveli, pudralı nüanslar

*Çilek aromasının literatürde belirtilen aroma aktif bileşenleri

* *Aroma active compounds of strawberry mentioned in the literature*

Nem ve su aktivitesi

Püskürterek kurutma yöntemiyle elde edilen mikrokapsüllerin nem miktarı hızlı nem ölçüm cihazı ile (Kern, DBS- 60, Almanya) belirlenmiştir. Mikrokapsüllerin su aktivitesi (aw) değerleri ise su aktivitesi tayin cihazı (AquaLab, 4TE, ABD) ile oda sıcaklığında ($25 \pm 1^\circ\text{C}$) ölçülmüştür.

Yığın yoğunluğu

Toz çilek aroması mikrokapsüllerinde yığın yoğunluğu analizi Koç (2015)' e göre gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla unda 2 g toz örnek 10 mL' lik mezür içerisine tartıldıktan sonra 20 defa sert bir zemine vurularak aralardaki boşlukların kalmayıp sıkıştırılmasından sonraki hacim okunarak sonuçlar kütle/hacim oranından kg/m^3 olarak hesaplanmıştır.

Parçacık boyutu dağılımı

Toz çilek aroması mikrokapsüllerinin parçacık boyut dağılım analizi parçacık boyut ölçüm cihazının sıvı modülü (Malvern, Mastersize 2000, wet dispersion unit, Birleşik Krallık) kullanılarak yapılmıştır. Ölçümlerde propanol kullanılmış olup, sonuçlar $D_{[4,3]}$ [yüzey ağırlıklı ortalama (YAO)], $D_{[3,2]}$ [hacim ağırlıklı ortalama (HAO)], D_{10} , D_{50} ve D_{90} değerleri üzerinden verilmiştir.

Model Gıda Üretimi

Püskürterek kurutma yöntemi ile üretilen çilek aroması mikrokapsülleri üretimlerinin ardından model gıdalara işlenmiş ve ürünlerde duyu analizi gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda model gıda olarak çikolata ve kek seçilmiştir. Bu ürünlerin seçiminde ısıl işlemin uygulandığı (kek) ve uygulanmadığı (çikolata) ürünlerdeki değişimin incelenmesi göz önünde bulundurulmuştur.

Çikolata yapımında piyasadan temin edilen sütlü çikolata kuvertürleri ve şekillendirmede silikon çikolata kalıpları kullanılmıştır. Çilek aromalı çikolata yapımında çikolata kuvertürü kontrollü olarak 40 °C’de benmari usulü eritilmiştir. Çilek aromasının (sıvı aroma/kontrol) ve çilek aroması mikrokapsüllerinin eklenebilmesi ve kristalizasyon işlemi için sıcaklık kontrollü olarak 30 °C’ye azaltılmış ve aroma mikrokapsülleri ile sıvı aroma (kontrol) %0.1 oranında (aroma mikrokapsülü/çikolata) ilave edilerek mutfak tipi robot ile 15 dakika boyunca karıştırılmış ardından hızlı bir şekilde kalıplara dökülmüştür. Kalıplara dökülüp şekillendirilen çikolatalar yaklaşık 15 saat oda sıcaklığında dinlendirildikten sonra duyu analizi gerçekleştirilmiştir.

Aromalı kek üretiminde ise un (%40), şeker (%23), yağ (%20), yumurta (%16) ve kabartma tozu (%1) kullanılarak bir hamur miksi hazırlanmış, hazırlanan miks 2 kısma ayrılarak birincisine %1 oranında ticari sıvı aroma, diğerine ise yine aynı oranda aroma mikrokapsülleri eklenerek homojen dağılması amacıyla karıştırılmıştır. Hazırlanan hamur karışımları 180 °C’de 30 dakika süreyle fırında (Siemens, HB114FBV0T) pişirilerek, soğutulduktan sonra duyu analizi gerçekleştirilmiştir.

Duyusal Analiz

Duyusal analizler Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü’nde görev yapan yaşları 23-35 arasında değişen 15 panelist (9 Kadın, 6 Erkek) ile yapılmıştır. Panelistlerden örnekleri görünüm, tekstür, koku, tat, hissedilen aromanın şiddeti ve genel beğeni açısından 1-5 arasında puanlandırmaları istenmiş, panel öncesi gıdaların değerlendirilmesinde aranan özellikler hakkında kısa bir bilgilendirme yapılmıştır.

İstatistiksel analiz

Çilek aromasından püskürterek kurutma yöntemi ile enkapsülasyon işlemi iki tekerrürlü, analizler ise üç paralelli olarak gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen verilere varyans analizi uygulanmış ve önemli bulunan farklılıklara ise Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi uygulanmıştır (Düzgüneş vd., 1987). Tüm istatistiki

hesaplamalar SAS programı (SAS, Cary, NC, USA) ile gerçekleştirilmiş olup değerler ortalama \pm standart hata şeklinde verilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Depolama süresine bağlı olarak aroma profilinin değişimi

Enkapsülasyon işlemi uygulanmamış sıvı çilek aromasının (kontrol) depolama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak aroma aktif bileşenlerinin değişimi incelendiğinde (Çizelge 2), depolamanın başlangıcında çilek aromasında oldukça baskın olan “butanoic asit, 2-metil-, etil ester”, “3-hexen-1-ol”, “3-hexen-1-ol, asetat”, “hexyl asetat” ve “2-propenoic asit, 3-phenyl-, metil ester” bileşenlerinin alan değerlerinin her 2 sıcaklık için de depolama süresinin artmasına bağlı olarak özellikle 30. günden itibaren başlangıç miktarlarına göre önemli oranda (> % 90) azaldığı, yukarıdaki bileşenlerin hemen hemen tamamının 60. gün sonunda tespit edilemediği görülmüştür. Depolamanın ilk gününde çileğe özgü başlıca 17 aroma bileşeninin toplam alanı 58182×10^3 iken, depolama süresi sonunda bu alanın 4 °C’de depolanan çilek aromalarında 204×10^3 e; 25 °C’de depolananlarda ise 166×10^3 e azaldığı belirlenmiştir. Bu durum ticari olarak sıvı formda depolanan çilek aromalarının 60 gün sonunda istenen özelliklerini neredeyse kaybettiği şeklinde yorumlanmıştır. Depolama sıcaklığı açısından çilek aroması bileşenlerinin toplam alanının değişimi irdelendiğinde ise; 4 °C’de depolanan çilek aromalarının toplam alanının 30 gün sonunda %93 oranında, 25 °C’de depolanan aromaların ise %96 oranında azaldığı görülmüştür.

Sıvı formdaki aroma bileşenleri ile püskürterek kurutma yöntemiyle elde edilen aroma mikrokapsüllerinin bileşimi (Çizelge 3) karşılaştırıldığında, sıvı formda tespit edilen 2-Hexen-1-ol,(E) ve 3-Hexen-1-ol bileşenlerinin toz mikrokapsüllerde belirlenemediği, enkapsülasyon sonunda ise ticari sıvı kontrol formunda bulunmayan 1-Butanol, 3-metil-,asetat bileşenlerinin mikrokapsüllerde bulunduğu görülmüştür.

Çilek aromasının püskürterek kurutma yöntemiyle enkapsülasyonu

Çizelge 2. Sıvı formdaki çilek aromasının bileşiminin depolama sıcaklığı ve süresine (gün) bağlı olarak değişimi (alan $\times 10^3$)

Table 2. Change of the composition of strawberry aroma in liquid form depending on storage temperature and time (day) (area $\times 10^3$)

Bileşen Compound	4 °C				25 °C			
	0.	15.	30.	60.	0.	15.	30.	60.
Butanoic asit, 2-metil-, metil ester	1142.68 ^a	1125.36 ^a	50.945 ^b	20.78 ^b	1142.68 ^a	1037.85 ^a	t.e.	21.28 ^b
Butanoic asit., etil ester	7023.70 ^a	405.10 ^b	259.45 ^d	t.e.	7023.70 ^a	341.24 ^c	122.22 ^d	t.e.
Butanoic asit, 2-metil-, etil ester	6403.37 ^a	366.46 ^b	245.96 ^c	59.161 ^d	6403.37 ^a	315.28 ^{b,c}	135.45 ^d	62.65 ^d
Butanoic asit, 3-metil-, etil ester	996.37 ^a	31.67 ^b	46.45 ^b	t.e.	996.37 ^a	38.65 ^b	t.e.	t.e.
3-Hexen-1-ol	3101.02 ^a	1580.88 ^{a,b}	1024.60 ^{a,b}	t.e.	3101.02 ^a	157.10 ^b	t.e.	t.e.
2-Hexen-1-ol, (E)-	1038.89 ^a	975.41 ^b	t.e.	t.e.	1038.89 ^a	929.51 ^b	19.23 ^b	t.e.
1-Hexanol	640.44 ^a	615.35 ^a	14.40 ^b	t.e.	640.44 ^a	602.85 ^a	t.e.	t.e.
Etil pentanoate	274.18 ^a	250.98 ^a	t.e.	t.e.	274.18 ^a	236.78 ^a	t.e.	t.e.
Etil hexanoate	9469.93 ^a	448.93 ^b	512.16 ^c	71.88	9469.93 ^a	8379.10 ^b	374.61 ^c	63.66 ^c
3-Hexen-1-ol, asetat	15514.04 ^a	15075.81 ^b	1006.45 ^d	t.e.	15514.04 ^a	14907.47 ^c	905.674 ^d	t.e.
Hexyl asetat	1143.72 ^a	1065.67 ^a	t.e.	t.e.	1143.72 ^a	967.32 ^a	t.e.	t.e.
2-Hexen-1-ol, asetat	430.51 ^a	427.81 ^a	51.23 ^b	18.16 ^b	430.51 ^a	407.60 ^a	43.57 ^b	19.04 ^b
Isoamyl isovalerate	7596.48 ^a	368.73 ^b	397.67 ^b	34.9 ^b	7596.48 ^a	374.74 ^b	363.34 ^b	t.e.
Butanoic asit, 2-metil-, hexyl ester	14.66 ^a	12.56 ^a	t.e.	t.e.	14.66 ^a	10.79 ^a	t.e.	t.e.
Metil cinnamylate	206.58 ^a	196.27 ^a	192.80 ^a	t.e.	206.58 ^a	172.24 ^a	170.69 ^a	t.e.
2-Propenoic asit, 3-phenyl-, metil ester	4121.08 ^a	3867.44 ^a	t.e.	t.e.	4121.09 ^a	3598.56 ^a	t.e.	t.e.
TOPLAM	58182.67 ^a	34489.29 ^b	4068.29 ^c	204.95 ^d	58182.68 ^a	32477.10 ^b	2193.78 ^{c,d}	166.56 ^d

t.e.: tespit edilemedi. Aynı satırdaki farklı harfler istatistiksel farkı ifade etmektedir ($P<0.01$).

t.e.: not detected. Different letters in same line mean the statistical significance ($P<0.01$).

Çizelge 3. Püskürterek kurutma yöntemi ile elde edilen çilek aroması mikrokapsüllerinin aroma bileşiminin depolama sıcaklığı ve süresine (gün) bağlı olarak değişimi (alan x 10³)
 Table 3. Change of the aroma composition of strawberry aroma microcapsules obtained by spray drying method depending on storage temperature and time (day) (area x 10³)

Bileşen Compound	4 °C				25 °C			
	0.	15.	30.	60.	0.	15.	30.	60.
Butanoic asit, 2-metil, metil ester	337.90 ^b	413.81 ^a	325.46 ^b	43.61 ^c	337.90 ^b	305.88 ^b	100.87 ^{b,c}	t.e.
Butanoic asit, etil ester	1477.67 ^a	1402.46 ^{a,b}	1203.83 ^b	50.20 ^c	1477.67 ^a	1273.35 ^{a,b}	12.36 ^c	7.71 ^c
Butanoic asit, 2-metil-, etil ester	3895.33 ^a	3225.24 ^b	3020.24 ^b	2881.19 ^{b,c}	3895.33 ^a	3002.54 ^b	2359.88 ^{c,d}	2135.76 ^d
Butanoic asit, 3-metil-, etil ester	949.91 ^a	796.37 ^b	601.70 ^c	414.50 ^d	949.91 ^a	736.39 ^b	592.45 ^c	444.51 ^d
1-Hexanol	192.25 ^a	181.18 ^a	t.e.	t.e.	192.25 ^a	t.e.	t.e.	t.e.
1-Butanol, 3-metil-, asetat	231.67 ^a	166.24 ^b	t.e.	t.e.	231.67	t.e.	t.e.	t.e.
Etil pentanoat e	6820.79	t.e.	t.e.	t.e.	6820.79	t.e.	t.e.	t.e.
Etil hexanoate	784.47 ^a	616.09 ^b	580.76 ^b	443.72 ^c	784.47 ^a	580.76 ^b	409.86 ^c	170.43 ^d
3-Hexen-1-ol, asetat	657.99 ^a	514.05 ^b	409.93 ^c	299.66 ^d	657.99 ^a	466.45 ^c	310.23 ^d	186.35 ^e
Hexyl asetat	662.55 ^a	445.27 ^b	234.77 ^c	197.52 ^{c,d}	662.55 ^a	425.90 ^b	210.24 ^c	159.35 ^d
2-Hexen-1-ol, asetat	281.01 ^a	234.77 ^b	26.56 ^c	t.e.	281.01 ^a	11.05 ^c	t.e.	t.e.
Butanoic asit 3-metilbutyl ester	11469.31 ^a	10496.28 ^b	8093.83 ^c	7611.03 ^d	11469.31 ^a	10493.49 ^b	6594.75 ^c	608.45 ^f
Isoamyl isovalerate	16446.17 ^a	16099.86 ^a	15025.01 ^{a,b}	12878.86 ^b	16446.17	16345.17 ^a	14340.26 ^{a,b}	9823.27 ^c
2-Propenoic asit, 3-phenyl-metil ester	6851.81 ^a	5695.11 ^b	451.69 ^d	219.21 ^{d,e}	6851.81 ^a	4001.11 ^c	t.e.	146.36 ^e
TOPLAM	48165.45 ^a	41710.96 ^{a,b}	30312.04 ^{b,c}	25039.48 ^{c,d}	48165.45 ^a	37247.63 ^{a,b,c}	25573.54 ^{c,d}	13582.20 ^d

t.e.: tespit edilemedi. Aynı satırdaki farklı harfler istatistiksel farkı ifade etmektedir ($P<0.01$).

t.e.: not detected. Different letters in same line mean the statistical significance ($P<0.01$)

Çizelge 3 incelendiğinde çilek aromasında etkili rol oynayan aroma aktif bileşenlerinin toplam alanının depolamanın başlangıcında 48165.45x10³ olduğu, depolamanın sonunda 4°C' de depolanan örneklerde bu alanın 25039.48 x10³ e; 25°C' de

depolanan örneklerde ise 13582.20 x10³ e düştüğü belirlenmiştir. Çilek aromasında yüksek oranda bulunan esterlerin depolama süresince alanları incelendiğinde ise 30. güne kadar alanın çok değişmediği ancak 60. günde istatistiksel

olarak önemli seviyede ($P<0.01$) azalış gösterdiği görülmektedir. Benzer şekilde çilek aromasında yüksek alana sahip ve ayrıca çilek aromasına meyveli, çileğimsi aromada katkı sağlayan isoamyl isovalerate bileşeninin de 30. güne kadar istatistiksel açıdan önemli seviyede ($P>0.05$) değişmediği, 60. gün sonunda %21 oranında azaldığı belirlenmiştir. Bu azalış ticari formda depolanan çilek aromasında ise depolama sonunda %94 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç püskürterek kurutma yöntemiyle elde edilen çilek mikrokapsüllerinin aroma aktif bileşeni açısından depolama stabilitesinin ticari formuna göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. Aroma mikrokapsüllerinin farklı sıcaklıklardaki aroma bileşenleri açısından depolama stabilitesi incelendiğinde ise depolama sıcaklığının aroma maddelerinin korunumu açısından oldukça önemli olduğu; toplam alanın 4 °C' de depolanan örneklerde 60 gün sonunda %48 oranında azaldığı, 25 °C' de depolanan örneklerde ise bu oranın %72 olduğu belirlenmiştir. Püskürterek kurutma yöntemiyle elde edilen çilek aroması mikrokapsüllerinde belirlenen aroma bileşenlerinin depolama süresine bağlı olarak salınımlarının birbirlerinden farklı oldukları görülmüş olup bu durum bileşenlerin molekül ağırlıklarının farklı olması ile ilişkilendirilmektedir (Jafari vd., 2008). Voiley vd. (1995) tarafından arabik gam kullanılarak etil hexonate ve etil butyrate bileşenlerinin püskürterek kurutma yöntemiyle enkapsüle edildiği çalışma sonucunda molekül ağırlığı daha yüksek olan etil hexonate' in etil butyrate' a göre depolama süresine bağlı olarak daha iyi korunduğu belirlenmiştir. Araştırmacılar bu farklılığı molekül ağırlığının artması ile difüzyonun yavaşlaması ile açıklamışlardır. Çalışma kapsamında da çilek mikrokapsüllerinde bulunan etil hexonate' in alanı depolama başlangıcında 784.47×10^3 olarak belirlenirken, depolama sonunda bu alan 443.72×10^3 olarak tespit edilmiştir. Mikrokapsüllerde belirlenen butanoic asit, etil ester bileşenin alanı ise 1477.67×10^3 'den 50.22×10^3 ' e azalmıştır. Pellicer vd. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada çilek aroması farklı taşıyıcı materyaller ile (MD, HiCap, β -SD, AG) 180 °C hava girişi sıcaklığında püskürterek kurutma yöntemi ile enkapsüle edilmiş olup, MD-HiCap- β -SD karışımından oluşan taşıyıcı

materyal ile kurutulan örneklerin aroma maddelerini daha iyi koruduğu, kurutma sonrası etil acetoasetat oranının %20.7' den %13.4' e, benzyl alcohol bileşeninin %73' ten %47.8' e ve etil 2-asetat bileşeninin %84.5' ten %28.1' e düştüğü bildirilmiştir.

Mikrokapsüllerin depolama şartlarına bağlı olarak nem ve su aktivitesi değişimi

Toz ürünlerin nem içeriği ve su aktivitesi değerleri depolama stabilitesi açısından önem taşımakta olup, 0.65 altındaki su aktivitesi değerleri mikrobiyal açıdan güvenilir olsa da, kimyasal ve biyokimyasal reaksiyonlar açısından 0.2-0.3 arasındaki su aktivitesi değerlerinin güvenilir aralık olduğu belirtilmektedir (Acar ve Cemeroglu, 1999). Depolama başlangıcında %3.36 olan toz mikrokapsüllerin nem miktarı değerleri, 60 günlük depolama süresi sonunda 4 °C' de depolanan örnekler için %4.43; 25 °C' de depolanan örnekler için ise %4.39 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4). Benzer şekilde örneklerin su aktivitesi değerleri de depolama süresine bağlı olarak istatistiksel açıdan önemli derecede ($P<0.01$) artış göstermiştir. Depolama süresi sonunda toz mikrokapsüllerin su aktivitesi değerleri 4 ve 25 °C' de depolanan örnekler için sırasıyla 0.37 ve 0.39 olarak belirlenmiş olup (depolama başlangıcında bu değerler sırasıyla 0.14 ve 0.18' dir), bu değerlerin kimyasal-biyokimyasal açıdan güvenli aralığın dışında olduğunu söylenebilir.

Mikrokapsüllerin depolamaya bağlı olarak yığın yoğunluğu değişimi

Yığın yoğunluğu toz ürünler için önemli parametrelerden biri olup, gıdaların akış özelliklerini, depolama stabilitesini ve ambalaj hacmini etkilemektedir. Sonuçlar incelendiğinde her iki depolama sıcaklığı için de depolama süresine bağlı olarak örneklerin yığın yoğunluğu değerlerinin istatistiki açıdan önemli derecede ($P>0.05$) olmasa da azaldığı görülmektedir (Çizelge 4). Bu azalışın ürünlerin nem miktarındaki artış ile ilişkilendirilmesi mümkündür. Literatürde toz ürünlerin depolama süresi ile birlikte kitle yoğunluklarının arttığı bildirildiği bazı çalışmalar (Samborska vd., 2015; Muzaffar ve Kumar, 2016) olsa da; Chang vd. (1998) toz gıdaların su aktivitesi değerinin

artmasıyla kitle yoğunluğu değerlerinin arttığı belirtilmiş ve bu artışın sıvı köprüler ile toz partiküllerin arasındaki boşlukların azalmasıyla ilişkili olduğu rapor edilmiştir.

Mikrokapsüllerin depolamaya bağlı olarak parçacık boyutu dağılımının değişimi

Toz mikrokapsüllerin boyutlarının değişimi gıdaların dokusunu ve duyuşal özelliklerini etkilediğinden dolayı gıda endüstrisinde ürünlere işlenen kapsüllenmiş bileşenlerin gıdanın dokusunu, duyuşal özelliklerini, rengini veya tadını etkilememesi arzu edilmektedir. Çalışma kapsamında püskürterek kurutma yöntemi ile toz forma dönüştürülen ve farklı sıcaklıklarda depolanan aroma kapsüllerinin parçacık boyutu

dağılımı depolama süresince ölçülerek depolama şartlarının kapsüllerin boyutu üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Toz ürünlerin $D_{[4.3]}$ [hacim ağırlıklı ortalama (HAO)], $D_{[3.2]}$ [yüzey ağırlıklı ortalama (YAO)], D_{10} , D_{50} ve D_{90} değerleri Çizelge 5'te, parçacık boyutu dağılımları ise Şekil 1' de verilmiştir. Sonuçlarda ifade edilen $D_{[4.3]}$ değeri genellikle parçacık sayısının önemsiz olduğu durumlarda kullanılmakta iken, aktif yüzeylere sahip parçacıklarda veya yüzey alanının önemli olduğu durumlarda $D_{[3.2]}$ değeri kullanılmaktadır. Ayrıca parçacık büyüklüğünü ifade etmek için kullanılan D_{10} , D_{50} ve D_{90} değerleri sırasıyla mikrokapsül çaplarının %10' unun, %50' sinin ve %90' ının belirtilen değere eşit ya da bu değerlerin altında bir değer olduğunu belirtmektedir.

Çizelge 4. Püskürterek kurutma yöntemi ile elde edilmiş çilek mikrokapsüllerinin depolamaya bağlı nem ve su aktivitesi değişimi

Table 4. Change of moisture content, water activity, and bulk density of strawberry microcapsules obtained by spray-drying method

Sıcaklık <i>Temperature</i>	Süre (gün) <i>Time (day)</i>	Nem miktarı (%) <i>Moisture content (%)</i>	Su aktivitesi <i>Water activity</i>	Yığın yoğunluğu (kg/m ³) <i>Bulk density (kg/m³)</i>
4°C	0.	3.36 ^c ±0.21	0.14 ^c ±0.01	351.60±1.76
	15.	4.02 ^b ±0.06	0.22 ^{bc} ±0.06	350.44±5.60
	30.	4.21 ^{ab} ±0.26	0.29 ^{ab} ±0.07	348.77±1.39
	60.	4.43 ^a ±0.28	0.37 ^a ±0.03	347.59±2.93
25°C	0.	3.36 ^b ±0.21	0.18 ^b ±0.01	351.60±1.76
	15.	3.78 ^b ±0.18	0.27 ^{ab} ±0.03	350.83±11.27
	30.	4.07 ^{ab} ±0.05	0.34 ^a ±0.00	348.82±0.38
	60.	4.39 ^a ±0.24	0.39 ^a ±0.00	344.57±1.13

Aynı sütundaki farklı harfler istatistiksel farkı ifade etmektedir ($P<0.01$)

Different letters in same column mean the statistical significance ($P<0.01$).

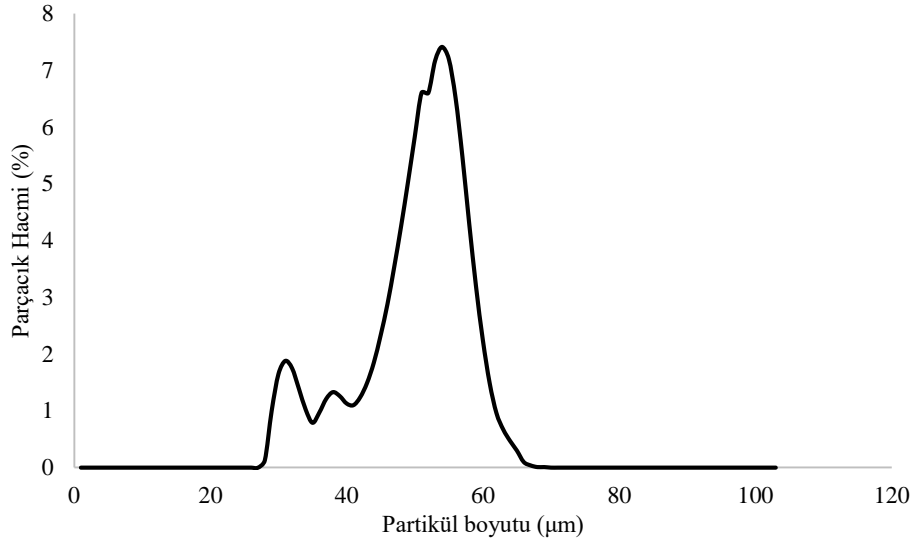
Çizelge 5. Çilek mikrokapsüllerinin depolamaya bağlı parçacık boyutu değişimi (µm)

Table 5. Change of particle size of strawberry microcapsules during storage (µm)

	D_{10}	D_{50}	D_{90}	$D_{[3.2]}$	$D_{[4.3]}$	
4°C	0.	1.17 ^a ±0.01	10.14 ^b ±0.47	22.91 ^c ±0.06	3.61 ^c ±0.01	12.86 ^b ±0.10
	15	1.32 ^a ±0.21	10.35 ^b ±0.01	25.82 ^b ±0.19	4.60 ^a ±0.02	11.83 ^b ±0.01
	30.	1.89 ^b ±0.01	10.42 ^b ±0.14	26.07 ^b ±0.14	4.60 ^a ±0.01	12.76 ^b ±0.03
	60.	1.99 ^b ±0.17	11.77 ^a ±0.07	28.28 ^a ±0.65	4.12 ^b ±0.26	15.02 ^a ±0.88
25°C	0.	1.17 ^b ±0.01	10.14 ^c ±0.47	22.91 ^c ±0.06	3.61 ^c ±0.01	12.86 ^b ±0.10
	15.	2.16 ^a ±0.11	11.16 ^b ±0.03	27.29 ^b ±0.58	3.83 ^c ±0.04	14.84 ^a ±0.16
	30.	2.14 ^a ±0.04	12.30 ^b ±0.04	27.42 ^b ±0.23	4.79 ^b ±0.05	14.03 ^b ±0.22
	60.	2.35 ^a ±0.17	12.93 ^a ±0.02	27.87 ^a ±0.56	5.11 ^a ±0.03	14.57 ^{ab} ±0.24

Aynı sütundaki farklı harfler istatistiksel farkı ifade etmektedir ($P<0.01$)

Different letters in same column mean the statistical significance ($P<0.01$).



Şekil 1. Püskürterek kurutma yöntemi ile elde edilen çilek aroması kapsüllerinin parçacık boyutu dağılımı

Figure 1. Particle size distribution of strawberry aroma microcapsules obtained by spray drying method

Toz mikrokapsüllerin depolama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak D_{10} değerlerinin 1.17-2.35 μm , D_{50} değerlerinin 10.14-12.93 μm , D_{90} değerlerinin 22.91-28.28 μm , $D_{[3,2]}$ değerlerinin 3.61-5.11 μm ve $D_{[4,3]}$ değerlerinin ise 11.83-15.02 μm arasında değiştiği belirlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde çilek aroması mikrokapsüllerinin başlangıç D_{50} değerinin 10.14 μm olduğu ve depolama süresi sonunda bu değerinin 4 $^{\circ}\text{C}$ 'de depolanan örneklerde 11.77 μm 'ye ve 25 $^{\circ}\text{C}$ 'de depolanan örneklerde ise 12.93 μm 'ye yükseldiği görülmektedir. Depolama süresi ve sıcaklığının artması ile çilek aroması mikrokapsüllerinin parçacık boyutundaki artış nem absorpsiyonuna bağlı gerçekleşen ve toplanma olarak bilinen, partiküllerin birbirine yapışması ile ilişkilendirilmiştir. Partikül boyutunun depolama koşullarından etkilenebileceği, artan sıcaklıkla birlikte, depolanan materyalin özelliğine bağlı olarak partikül boyutunun azalabileceği ya da artabileceği rapor edilmiştir (Koç vd., 2015). Çalışma sonuçlarına paralel olarak limonen aromasının arabik gam kullanılarak püskürterek kurutma yöntemi ile mikrokapsülasyonunun araştırıldığı bir çalışmada örneklerin D_{50} değerinin depolama süresi sonunda 15.7 μm 'den 23.2 μm 'e yükseldiği bildirilmiştir (Bertolini vd., 2001).

Duyusal analiz sonuçları

Aroma maddeleri gıda endüstrisinde pastacılık ürünleri, içecekler, süt ürünleri, atıştırılmalık çerezler, çikolatalar, şekerlemeler ve sakızlar gibi birçok üründe kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında toz forma getirilmiş çilek aromasının beğeni durumunun ortaya koyulabilmesi amacıyla mikrokapsüller hazırlanan çikolatalaya ve keke ilave edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde kapsüllenen çilek aroması ile üretilen çikolatalarda test edilen duyu özelliklerinin panelistler tarafından daha çok beğenildiği (Şekil 2), özellikle de aroma şiddeti, koku, tat ve genel beğeni açısından kapsüllenen örneklerin istatistiksel olarak da önemli derecede ($P<0.01$) daha yüksek puan aldığı görülmektedir (Çizelge 6).

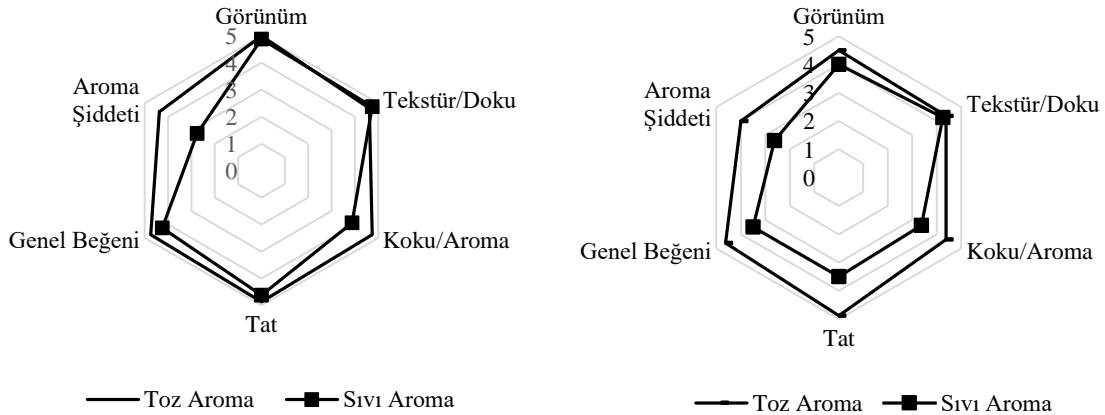
Çilek aroması kullanılarak üretilen keklerin duyu analiz verilerine bakıldığında da benzer şekilde koku, aroma şiddeti ve genel beğeni sonuçlarında püskürterek kurutma yöntemi ile kapsüllenen çilek aroması kullanılarak üretilen keklerin, ticari sıvı formda üretilen keklere göre daha yüksek puan aldığı ($P<0.01$) görülmektedir. Bu sonuçlar enkapsülasyon işlemi ile üretim sırasındaki koşullara karşı daha stabil çilek aromasının elde edilebildiğini göstermiştir.

Çizelge 6. Çilek aromalı çikolata ve keklere ait duyu analizi sonuçları
 Table 6. Sensory analysis results of chocolate and cakes flavored by strawberry aroma

Çikolata	Görünüm	Tekstür	Koku	Tat	Aroma şiddeti	Genel beğeni
<i>Chocolate</i>	<i>Appearance</i>	<i>Texture</i>	<i>Odor</i>	<i>Taste</i>	<i>Aroma intensity</i>	<i>General taste</i>
Ticari-Sıvı <i>Commercial-Liquid</i>	4.88±0.12	4.75±0.25	3.88 ^b ±0.29	4.63±0.18	2.75 ^b ±0.31	4.25 ^b ±0.25
Toz-Kapsül <i>Powder-Capsule</i>	5.00±0.00	4.63±0.26	4.75 ^a ±0.16	4.88 ^a ±0.12	4.38 ^a ±0.26	4.75 ^a ±0.16
Kek <i>Cake</i>						
Ticari-Sıvı <i>Commercial-Liquid</i>	4.00±0.19	4.25±0.25	3.38 ^b ±0.26	3.50 ^b ±0.76	2.63 ^b ±0.32	3.50 ^b ±0.19
Toz-Kapsül <i>Powder-Capsule</i>	4.50±0.19	4.38±0.18	4.38 ^a ±0.26	4.88 ^a ±0.35	4.00 ^a ±0.38	4.63 ^a ±0.18

Aynı sütundaki farklı harfler istatistiksel farkı ifade etmektedir ($P<0.01$)

.Different letters in same column mean the statistical significance ($P<0.01$).



a

b

Şekil 2. Çilek aromalı çikolata (a) ve keklere (b) ait duyu analizi sonuçları
 Figure 2. Sensory analysis results of chocolate (a) and cakes (b) flavored by strawberry aroma

SONUÇ

Ekonomik değeri oldukça yüksek olan aroma maddelerinin depolama stabiliteğini arttırmak ve işlenmeleri sırasındaki salınımlarının kontrolünü sağlamak oldukça önemlidir. Son yıllarda, gıda endüstrisinde oksijen, nem, sıcaklık, ışık ve benzeri çevre koşullarına karşı koruma sağlayan ve aktif bileşenin doğru yerde, doğru zamanda kontrollü salınımlarına olanak veren enkapsülasyon uygulamaları gittikçe yaygınlaşmaktadır. Nitekim

bu çalışma ile sıvı formdaki çilek aromasının püskürtülerek kurutma yöntemi ile başarılı bir şekilde enkapsüle edilebileceği ve bu yöntemle elde edilen mikrokapsüllerin depolama kararlılığının arttırabileceği görülmüştür. Çalışma sonuçları sıvı formda toplam aroma bileşenlerinde 60 günlük depolama süresi sonunda %95'den fazla oranda kaybın meydana geldiğini, bu kaybın enkapsülasyon işlemiyle 4 °C de depolanan örneklerde yarı yarıya azaltılabildiğini göstermiştir.

Depolama sıcaklığının artması ile birlikte aroma salınımının da arttığı görülmüştür. Toz mikrokapsüllerin depolama süresince nem absorbe ettikleri, buna bağlı olarak su aktivitesi değerlerinin arttığı ve özellikle 60 günlük depolama süresi sonunda kimyasal reaksiyonlar açısından su aktivitesi değerlerinin kritik bir noktaya geldikleri tespit edilmiştir. Nem absorpsiyonuna bağlı olarak tozların depolama süresi ile birlikte partikül boyutlarının arttığı ve kitle yoğunluklarının ise azaldığı görülmüştür. Bu anlamda elde edilen sonuçlar, aroma maddelerinin iyi bir şekilde ambalajlanarak depolanması gerektiğini göstermiştir. Çilek aroması mikrokapsülleri ile üretilen çikolata ve kek duyuşal açıdan ticari forma göre üretilen ürünlere göre daha fazla beğenilmiş olup, özellikle aroma şiddetinin enkapsüle edilen aromalarla üretilen gıdalarda daha fazla hissedildiği görülmüştür. Bu sonuç aroma enkapsülasyonu ile gıdaların işlenmesi sırasında kararlılık sağlanabileceğini de göstermiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Bu makalede yer alan yazarların arasında herhangi bir çıkar çatışmasının olmadığını beyan ederiz.

YAZARLARIN KATKISI

Ferhan BALCI TORUN, analizlerinin yapılması, sonuçların istatistiksel olarak değerlendirilmesi aşamalarında ve makalenin yazım sürecinde; Feramuz ÖZDEMİR, çalışma planının kurulması, çalışmanın yürütülmesi ve makalenin yazım sürecinde katkıda bulunmuştur.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı maddi olarak destekleyen Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (FDK-2015-768) ve aromaların teminindeki desteklerinden dolayı Aromsa Besin Aroma ve Katkı Maddeleri Sanayi Ticaret A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Acar, J., B. Cemeroglu. (1999). *Meyve ve sebze teknolojisi*. Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları Yayın: 43,399.

Anonim (2013). www.tarim.gov.tr

Balcı-Torun, F., (2019). Farklı enkapsülasyon yöntemleri kullanılarak elde edilen aroma kapsüllerinin depolama stabilitesinin ve gıda katkı maddesi olarak kullanımının araştırılması. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi, Antalya, Türkiye, 182 s.

Balcı-Torun, F., Özdemir, F., (2021). Encapsulation of strawberry flavour and physicochemical characterization of the encapsulated powders. *Powder Tech*, 380, 602-612.

Bertolini, A., Siani, A., Grosso, C. (2001). Stability of monoterpenes encapsulated in gum arabic by spray-drying. *J. Agric. Food Chem.*, 49(2): 780-785.

Bhandari, B.R., Howes, T. (1999). Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods. *Journal of Food Engineering*, 40: 71-79.

Burdock, G. A. (1998). Review of the biological properties and toxicity of bee propolis (propolis). *Food and Chemical toxicology*, 36(4), 347-363.

Chang, K.S., Kim, D.W., Kim, S.S., Jung, M.Y. (1998). Bulk flow properties of model food powder at different water activity. *International Journal of Food Properties*, 1(1): 45-55.

Düzgüneş, O., et al. "Araştırma ve Deneme Metotları (İstatistik Metotları-II), Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları, 1021." Ders kitabı 295 (1987).

Forney, C.F., Kalt, W., Jordan M.A. (2000). The Composition of Strawberry Aroma Is Influenced by Cultivar, Maturity, and Storage. *Hortscience*, 35:6, 1022-1026.

Galmarini, M.V., Baren, C., Zamora, M.C., Chirife, J., Lira, P., L., Bandoni, A. (2011). Impact of trehalose, sucrose and /or maltodextrin addition on aroma retention in freeze dried strawberry puree. *Int. J. Food Sci. Technol.* 46, 1337-1345

Gibbs F., Kermasha S., Alli I., Mulligan C.N. (1999). "Encapsulation in the food industry: a review." *Int J Food Sci Nutr*, 50:3: 213-224.

Jafari, S.M., Assadpoor, E., He, Y., Bhandari, B. (2008). Encapsulation efficiency of food flavours

- and oils during spray drying. *Drying Technol.*, 26(7): 816-835.
- Jetti, R.R., Yang, E., Kurnianta, A., Finn, C., Qian, M.C., (2007). Quantification of selected aroma-active compounds in strawberries by headspace solid-phase microextraction gas chromatography and correlation with sensory descriptive analysis. *Journal of Food Science* 72.
- Jimenez, M., Garcia, H.S, Beristain, C.I. (2004). Spray-drying microencapsulation and oxidative stability of conjugated linoleic acid, *European Food Research and Technology*, 219: 588-592.
- Karaoglu, M., Kotancılar, H., Çelik, İ. (1998). Modifiye nişasta eldesi ve fırın ürünlerinde kullanımı. *Atatürk Üniversitesi Dergisi*, 29(2): 359-368.
- Kargel, B. C. W. (2000). Effect of polymeric phase transitions on the controlled release and oxidative stability of flavor model systems encapsulated in traditional carbohydrate carriers. Ph.D. Thesis, Faculty of the Graduate School, University of Minnesota, USA.
- Koç, M. (2015). Farklı kurutma yöntemleri ile bal tozu üretim koşullarının optimize edilmesi ve depolama stabilitesinin belirlenmesi. Doktora tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 202 s.
- Koç, M., Güngör, Ö., Zungur, A., Yalçın, B., Selek, İ., Ertekin, F.K., Ötles, S. (2015). Microencapsulation of extra virgin olive oil by spray drying: effect of wall materials composition, process conditions, and emulsification method. *Food Bioproc Technol*, 8 (2):301-318.
- Koç, M., Sakin, M., Ertekin, F. (2010). Mikroenkapsülasyon ve gıda teknolojisinde kullanımı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16: 77-86.
- Krishnan, S., Bhosale, R., Singhal, R.S. (2005). Microencapsulation of cardamom oleoresin: evaluation of blends of gum arabic, maltodextrin and a modified starch as wall materials, *Carbohydrate Polymers*, 61: 95-102
- Madene A., Jacquot M, Scher J., Desorby S. (2006) Flavour encapsulation and controlled release-a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 1, 1-21.
- Mahdavi, S.A., Jafari, S.M., Assadpoor, E., Dehnad, D. (2016). Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum arabic and gelatin. *Int. J. Biol. Macromol.*, 85: 379-385.
- Muzaffar, K., Kumar, P. (2016). Moisture sorption isotherms and storage study of spray dried tamarind pulp powder. *Powder Technol*, 291: 322-327.
- Pelayo, C., Ebeler, S. E., A. A. Kader. (2003) "Postharvest life and flavor quality of three strawberry cultivars kept at 5 C in air or air+ 20 kPa CO₂." *Postharvest Biology and Technology* 27,2: 171-183.
- Pellicer, J.A., Fortea, M.I., Trabal, J., Rodríguez-López, M.I., Gabaldón, J.A., Núñez-Delgado, E. (2019). Stability of microencapsulated strawberry flavour by spray drying, freeze drying and fluid bed. *Powder Technol.*, 347: 179-185.
- Pizzoni, D., Compagnone, D., Di Natale, C., D'Alessandro, N., Pittia, P. (2015). Evaluation of aroma release of gummy candies added with strawberry flavours by gas-chromatography/mass-spectrometry and gas sensors arrays. *Journal of Food Engineering*, 167, 77-86.
- Quek, S.Y., Chok, N. K., Swedlund, P. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing*, 46: 386-392.
- Re, M.I. (1998). Microencapsulation by spray drying, *Drying Technology*, 16: 1195-1236.
- Rodriguez-Huezo, M.E., Pedroza-Islas, R., Prado-Barragan, L.A., Beristain, C.I., Vernon-Carter, E.J. (2004). Microencapsulation by spray drying of multiple emulsions containing carotenoids, *Journal of Food Science*, 69: 351-359.
- Samborska, K., Langa, E., Bakier, S. (2015). Changes in the physical properties of honey powder during storage. *International Journal of Food Science and Technology*, 50: 1359-1365.

- Schieberle, P., Hofmann, T., (1997). Evaluation of the character impact odorants in fresh strawberry juice by quantitative measurements and sensory studies on model mixtures. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(1), 227-232.
- Torun, M., Özdemir, F. (2011). Lezzet artırıcı gıda katkı maddesi: Monosodyum Glutamat (MSG). *Turkchem*, 21: 40-42.
- Voilley, A.J. (1995). Flavor encapsulation: Influence of encapsulation media on aroma retention during drying. Chapter 15, pp 169-179.
- Zabetakis, I. (1997). Enhancement of flavour biosynthesis from strawberry (*Fragaria x ananassa*) callus cultures by *Methylobacterium* species. *Plant cell, tissue and organ culture*, 50(3), 179-183.
- Zabetakis, I., Holden, M. A. (1997). Strawberry flavour: analysis and biosynthesis. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 74(4), 421-434.
- Zeller, B.L., Saleeb, F.Z., Ludescher, R.D. 1999. Trends in development of porous carbohydrate food ingredients for use in flavor encapsulation, *Trends in Food Science and Technology*, 9: 389-394.
- Zhu, G.Y., Xiao, Z.B., Zhou, R.J., and Yi, F. P. (2012). Fragrance and flavor microencapsulation technology. In *Advanced Materials Research* (Vol. 535, pp. 440-445). Trans Tech Publications Ltd.
- Zuidam, N. J., and Heinrich, E. (2010). Encapsulation of aroma. In *Encapsulation technologies for active food ingredients and food processing* (pp. 127-160). Springer, New York, NY.