



Köpük Kurutma Yöntemi ile Gıdaların Kurutulması

Emine Varhan, Mehmet Koç*

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

MAKALE BİLGİSİ

Derleme Makale

Geliş 02 Aralık 2016
Kabul 17 Ocak 2017

Anahtar Kelimeler:

Köpük kurutma
Toz gıda
Çırpma
Köpürtme ajanları
Köpük stabilizatörleri

* Sorumlu Yazar:

E-mail mehmetskoc@adu.edu.tr

ÖZET

Gıda sanayinde toz formda ürün eldesinde kullanılan kurutma yöntemlerinden biri de köpük kurutmadır. Bu yöntem diğer kurutma yöntemlerine kıyasla süre ve maliyet açısından daha iyi olup, meyve, süt ve deniz ürünleri gibi çeşitli gıdaların toz forma dönüştürülmesinde kullanılmaktadır. Köpük yapısının oluşumu köpürtme ajanları ve/veya stabilizörler ile sağlanmaktadır. Köpük yapısına dönüştürülen gıdanın yüzey alanı genişler ve kurutma işleminin etkinliği artar. Bu derlemede gıdanın köpük kurutma yöntemi ile toz forma dönüştürülmesi aşamasında uygulanan işlem parametreleri, elde edilen ürün özellikleri ve köpük kurutma yönteminin çeşitli gıda maddelerine uygulanabilirliği hakkında bilgi sunulmaktadır.

Turkish Journal Of Agriculture - Food Science And Technology, 5(6): 637-645, 2017

Drying of Foods with Foam mat Drying Method

ARTICLE INFO

Review Article

Received 02 December 2016
Accepted 17 January 2017

Keywords:

Foam mat drying
Powdered food
Mixing
Foaming agents
Foam stabilizers

* Corresponding Author:

E-mail: mehmetskoc@adu.edu.tr

ABSTRACT

The foam mat drying is one of drying methods applied to produce powdered food in the food industry. Foam mat drying, which is better than other methods of drying in terms of drying time and cost, is used to convert powder form of various foods such as fruit, milk and seafood. The formation of the foam structure is provided with foaming agents and/or stabilizers. The surface area and drying efficiency of food product increase with conversion to foam structure. In this review, knowledge about the process conditions applied during the process of converting the food into powder form by foam drying method, the obtained product properties and the applicability of foam mat drying to various foods are presented.

Giriş

Kurutma, gıdaların hasadı sonrası işleme teknolojileri arasında önemli bir yere sahip olup, temel amacı gıdanın nem içeriğini ve su aktivitesini azaltarak raf ömrünü uzatmak ve kütle azalmasıyla da birlikte paketlenme, depolama ve taşıma maliyetlerini en aza indirmektir (Wilson ve ark., 2010).

Hazır ve kolay tüketilebilir gıdaların talebi paralelinde sağlıklı beslenmenin de ön planda olduğu günümüzde değişen tüketici istekleri de dikkate alınarak, gıda sanayi son birkaç yıl içerisinde toz hazır gıda ürünleri üzerinde inovatif çalışmalar ve atılımlar gerçekleştirmiştir. Değişen hızlı yaşam koşullarıyla beraber tüketicinin beklentisi tek bir üründen ihtiyacı olan bütün gereksinimlerini karşılamasıyla, üretici üretmiş olduğu ürünün uzun süre bozulmadan depolanmasını ve nakliyat giderlerinin azalmasını istemektedirler. Bu sebepler de gıda üretici ve tüketicilerini toz karışımlara yönlendirmektedir (Koç ve Ertekin, 2016). Toz ürünlerin üretilmesinde birincil tercih edilen yöntem kurutma teknolojisidir. Kurutma işlemi farklı yöntemler ile gerçekleştirilebilmekte ve son zamanlarda köpük kurutma yöntemi sağlamış olduğu avantajlardan dolayı öne çıkmaktadır.

Köpük kurutma işlemine genel olarak bakıldığında hem ısı hem de kütle transferi (suyun uzaklaştırılması) gerçekleşmekte olup; tepsisi, tambur ya da hareketli bantlar üzerine yayılan köpük; iletim, konveksiyon ve radyasyon gibi ısı uygulamaları ile kurutulmaktadır (Venkatachalam ve ark., 2014). Köpük kurutma işlemi için vakum kurutucudan yararlanılabileceği gibi, daha yaygın bir kullanımı olan atmosferik koşullarda çalıştırılan bantlı kurutucudan da yararlanır. Gıdanın köpük kurutma yöntemi ile kurutulması, gerek kuruluş ve gerekse işletme masrafları bakımından oldukça düşük olup, dondurarak kurutulmuş bir ürün kalitesinde fakat daha ucuza ürün elde edilebilmektedir (Cemeroğlu, 2013). Köpük kurutma yöntemi özellikle viskoz yapıdaki hassas gıdaların kurutulması için uygun bir yöntem olup, talebe bağlı olarak süt, meyve suyu, kahve ve çay gibi yüksek kalitedeki konsantrelerde uygulanabilir.

Bu derlemede, gıdanın köpük kurutma yöntemi ile toz forma dönüştürülmesi aşamasında uygulanan işlem parametreleri ve elde edilen ürün özellikleri, köpük kurutma yönteminin çeşitli gıda maddelerine uygulanabilirliği ve avantajları hakkında bilgi sunulmaktadır.

Köpük Kurutma Yöntemi

Kurutma, gıda maddelerinden suyun uzaklaştırılması işlemidir. Gıdanın yapısındaki suyun uzaklaşmasıyla birlikte gıdanın su aktivitesi düşmektedir. Bunun sonucunda mikrobiyal bozulma ve enzimatik reaksiyonlar önlediği için son ürünün raf ömrü uzamaktadır (Venkatachalam ve ark., 2014). Püskürtmeli, vakum, dondurularak ve köpük kurutma yöntemleriyle gerçekleştirilen kurutma işlemleri ürünün taşıma maliyetini düşürmesi ve kullanım kolaylığı sağlaması açısından da büyük bir öneme sahiptir. (Koç ve Ertekin, 2016).

Gıda materyallerinin kurutulması genellikle havayla ve vakumla müdahale şeklinde ikiye ayrılır.

Gıda içerisindeki suyun uzaklaştırılması işlemi hava olmaksızın vakum kurutucular ile başarılı bir şekilde gerçekleştirilirken, mikrobiyal yükün azaltılması hususunda da etkili olup özellikle dondurularak kurutma işleminde ek bir proses işlemi olarak da tercih edilir. Havayla müdahale edilen proseslerde ise yüksek kurutma oranı için yüksek sıcaklıklar gereklidir (Chen, 2008).

Bu derlemede ayrıntılı olarak üzerinde durulacak köpük kurutma işlemi, diğer yöntemlere kıyasla ucuz bir yöntem olup, meyve, süt ve deniz ürünleri gibi gıdaların toz üretimlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılmaktadır.

Köpük kurutma yöntemini basit bir tanımla açıklamak gerekirse; kurutulması istenen ürünün sıvı formdan, köpük forma dönüştürülmesi ve sıcak hava ile çalışan kurutucularla müdahale edilerek kurutulması şeklinde tanımlanabilir. Kurutulmasıyla yüksek verim sağlanabilecek köpük yapısının oluşumu için Tablo 1'de de belirtilen proteinler, gıdalar ve çeşitli emülsifiye edici maddeler (yumurta beyazı, gliserol monosakkarit, propilen gliserol monosakkarit, karboksimetil selüloz, triklorofosfat) köpürtme ajanları ve/veya stabilizörler kullanılır.

Kurutma işlemi öncesi köpük yapısına dönüştürülen ürünün mevcut toplam yüzey alanının artması kurutulmasında da avantaj sağlar ve dolayısıyla kurutma işleminin etkinliği gelişir (Muthukumar ve ark., 2008). Kurutulmak istenen ürünün köpük formuna getirilmesinin esas nedeni, köpüğün yapısı itibarıyla hava kurutucuya maruz kalan yüzey alanının genişletilerek nem giderme işleminin hızlandırılmasıdır.

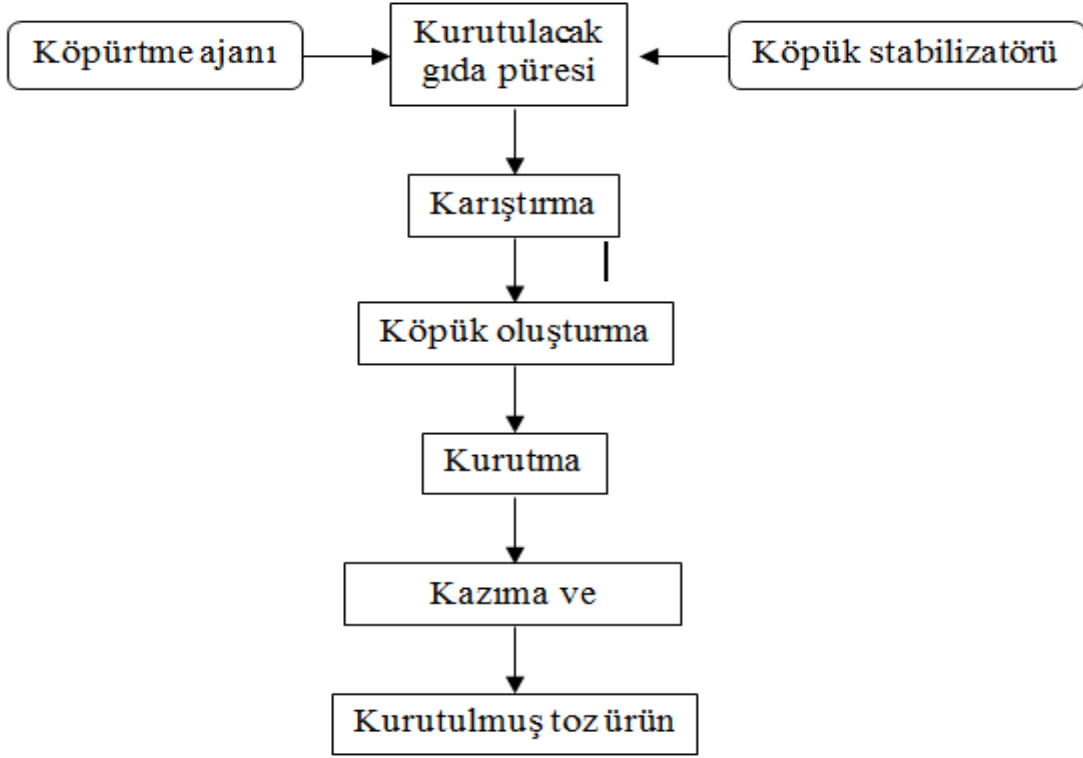
Bu metodun farklı bir avantajı da vakum, mikrodalga gibi diğer konveksiyonel kurutma metodlarından daha az kurutma sıcaklıklarında yapılabilmesidir. Böylece ürün içerisindeki uçucu bileşenlerdeki kayıp diğer kurutma metodlarına oranla daha az gerçekleşir (Muthukumar ve ark., 2008).

Şekil 1'de genel hatlarıyla belirtilmiş akım şemasında köpük kurutma yöntemiyle kurutulacak olan gıdanın köpürtme ajanları ve/veya köpük stabilizatörleriyle oluşturmuş olduğu karışım, mikser ya da özel tasarlanmış cihazlar yardımıyla karıştırılarak başarılı bir köpük oluşumu sağlanır. Böylece yüzey alanı arttırılmış köpük yığını tabaka şeklinde yayılarak mikrodalga, infrared fırınlar ve tepsili kurutucular gibi kurutucularda arzu edilen nem içeriğine kadar kurutulur. Serbestçe akabilen bir toz elde edebilmek için ince tabakalara ayrılmış olan köpüklerin kurutulması nispeten daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşir (Venkatachalam ve ark., 2014). Kurutulmuş ürün kazınarak, uygun partikül boyutunun sağlanabilmesi için öğütülür ve rekonstitüsyon yeteneği yüksek, akıcı bir toz ürün elde edilir.

Köpük kurutma ile kurutulan ürünler mikrobiyal, kimyasal ve biyokimyasal reaksiyonlar açısından yüksek stabilitede olmalarının yanı sıra; yüksek kalitede, yeniden sulandırılabilir porlu (instant) bir yapı kazanırlar (Kadam ve ark., 2011).

Tablo 1 Çeşitli gıda maddeleri için kullanılan köpük oluşturma ve kurutuma parametreleri

Gıda ürünü	Köpürtme ajanı ve/veya stabilizatörü	Köpürtme işlemi ve koşulları	Kurutma işlemi ve koşulları	Kaynak
Alphonso mango püresi	Yumurta Albümini, Metil selüloz		Sürekli tip kurutucuda 60°C'ta kurutma	Rajkumar ve ark., 2007
Alphonso mango püresi	Soya proteini, Metil selüloz, Gliserol monosakkarit, Yumurta albümini	Mikserde 1400 rpm hızda 25 dakika çırpma	Kesikli tip kurutucuda 60, 65, 70 ve 75°C'ta, 1mm köpük kalınlığı olacak şekilde kurutulmuştur.	Rajkumar ve ark., 2007
Atemoya Püresi	Emustab, Süper Liga Neutra	20 dakika çırpma	60,70 ve 80°C'ta farklı köpük kalınlıklarında kurutulmuştur.	Galdino ve ark., 2016
Siyah frenk üzümü	Gliserin monostearat, Soya protein izolatu, Karboksimetil selüloz		4.46 mm köpük kalınlığında, 560W güçte, 8 dakika süresince mikrodalgada kurutulmuştur.	Xian-zhe Zheng ve ark., 2011
Bal-Glikoz şurubu formülasyonu	Peynir altı suyu proteini		40-50°C'ta 100 mbar'lık vakum altında köpük kurutulmuştur.	Sramek ve ark., 2016
Börülce	Gliserol monosakkarit, Yumurta beyazı	3, 6, 9, 12, 15, 18 ve 21 dakika çırpma	60°C'ta 48 dakika süresince kurutulmuştur.	Falade ve ark., 2003
Kantalup	Yumurta beyazı, Ksantan gam	5400 rpm hızda mikser ile çırpma	Kesikli tip tepsili kurutucuda 3-5 mm köpük kalınlığında, 40, 55 ve 70°C'ta kurutulmuştur.	Salahı ve ark., 2015
Domates suyu	Yumurta albümini		2.5 mm köpük kalınlığında, 60-70°C'ta kurutulmuştur.	Kadam ve Balasubramanian, 2011
Domates püresi	Karboksimetil selüloz, Yumurta beyazı, Süt	Blenderla 3-5 dakika çırpma	65, 75 ve 85°C'ta kurutulmuştur.	Wilson ve ark., 2012
Domates püresi	Yumurta beyazı, Maltodekstrin	440 rpm hızda mikser ile 3 dakika süresince çırpma	50, 60 ve 70°C'ta kurutulmuştur.	Sramek ve ark., 2015
Elma suyu	Metosel, Yumurta beyazı		Dondurarak kurutulmuştur.	Rahartsıfa ve Ratti, 2010a
Karragenan	Yumurta beyazı, Metil selüloz		80°C'ta 120 dakika süresince kurutulmuştur.	Djaeni ve ark., 2015
Karides	Ksantan gam	1500 rpm hızda mikser ile 2-6 dakika süresince çırpma	45, 60, 75 ve 90°C'ta 90 dakika süresince kurtulmuştur.	Azizpour ve ark., 2014
Muz	Soya Proteini	12 dakika çırpma	Hava kurutucuda 45-90 dakika süresince kurtulmuştur.	Sankat ve Castaigne, 2004
Muz	Yumurta Albümini		60,70 ve 80°C'ta, kurut kurutulmuştur.	Thuwapanichayan ve ark., 2008
Muz	Gliserin monostearat	Mikserle yüksek hızda 2 dakika çırpma		Falade ve Okocha, 2012
Muz	Yumurta Albümini		80°C'ta kurutulmuştur.	Prakotmak ve ark., 2011
Mango	Süt	Blender ile 3 dakika çırpma	65, 75 ve 85°C'ta kurutulmuştur.	Kadam ve ark., 2010
Mango	Yumurta beyazı		65, 75 ve 85°C'ta kurutulmuştur.	Kadam ve ark., 2014
Mandalina	Karboksimetil selüloz, Süt, Yumurta beyazı	3-5 dakika çırpma	Tepsi kurutucularda 65,75 ve 85°C'ta, sırası ile 330, 300 ve 180 dakika süresince kurutulmuştur.	Kadam ve ark., 2011
Mor Brezilya Kirazı	Albümin, Emulstab, Superliga		55°C'ta, 2 saat süresince kurutulmuştur.	Chaves ve ark., 2013
Papaya	Metil selüloz, Gliserol mono stearat, Yumurta beyazı,	20 dakika çırpma	Kesikli tip kabine kurutucularda 60, 65 ve 70°C'ta kurutulmuştur.	Kandasamy ve ark., 2014
Yıldız meyvesi	Metosel	Blender ile 4 dakika çırpma	70-90°C'ta kurutulmuştur.	Karim ve Wai, 1999
Yalancı iğde	Karboksimetil selüloz	3 dakika çırpma	55°C'ta kurtulmuştur.	Kaushal ve ark., 2013
Uvaia meyvesi	Albümin, Karboksimetil selüloz Ksantan gam	Mikser ile yüksek hızda 10 dakika çırpılır.	60 ve 70°C'ta kurtulmuştur.	Branco ve ark., 2016
Vişne	Yumurta beyazı, Metil selüloz		50, 65 ve 80°C'ta, 70-200 dakika süresince kurutulmuştur.	Abbasi ve Azizpour, 2016
Yumurta beyazı	Metil selüloz, Propilen glikol alginate, Ksantan gam, Metil selüloz	4000 rpm hızda, 5 dakika süresince blender ile çırpma	Dondurarak kurutma	Muthukumaran ve ark., 2008
Yacon meyvesi suyu ve konsantresi	Yumurta albümin	Mikserle yüksek hızda 20 dakika çırpma	50, 60 ve 70°C'ta kurutulmuştur.	Franco ve ark., 2016



Şekil 1 Köpük kurutma yöntemi akış çizelgesi

Yukarıda da bahsi geçen köpük kurutma prosesleri;

- Tüm sulandırılabilir, sıvı ya da yarı sıvı gıdalar için uygulanabilir elverişli bir yöntem olması,
- Düşük sıcaklıklarda hızlı bir şekilde sağlanabilmesi ve böylece kurutulan ürünün besin değerlerinin en az zararla muhafaza edilmesi,
- Gözenekli yapısıyla yüksek rekonstitüsyon yeteneğine sahip olması ve basitçe hazırlanabilen meyve suyu tozları gibi toz gıdaların uygun bir maliyetle elde edilmesiyle diğer kurutma yöntemlerine oranla daha fazla avantaj sağlaması bakımından önem arz etmektedir (Kudra ve Ratti, 2006).

Köpük kurutma yöntemiyle yüzey alanının genişletilip, yüksek stabilitede köpük üretilmesi ve bu işlemlerin düşük sıcaklıklarda gerçekleşmesinden dolayı gelecek vadeden bir yöntem olduğu açıkça söylenebilir (Vernon-Carter ve ark., 2001).

Köpük ve Yapısı

Köpük, sürekli faz ile hava taneciklerinin oluşturduğu gaz fazının karışımıdır (German ve Phillips, 1994). Durian ve ark. (1991) köpük yapısını ince sıvı tabaka içerisindeki gaz kabarcıklarının rastgele dağılımı şeklinde tanımlamışlardır. Koloidal dispersiyon yapısındaki köpük içerisinde bulunan gaz, sürekli faz içerisinde dağılmış durumdadır. Dağılmış faz iç faz olarak adlandırılırken, sürekli faz da dış faz olarak ifade edilir (Baniel ve ark., 1997). Köpük içerisindeki dağılmış faz, sürekli faza oranla daha geniş alana sahiptir. Suyla hava arasındaki yüzey alanı arttırılarak yüksek yüzey gerilimi sağlanmış olup yoğunlukları farklı fazlar termodinamik dağılımlarıyla açıklanır (German ve Phillips, 1994).

Köpük yapıları sürekli faz içerisindeki dağılmış faz (hava) oranına bağlı olarak, çok kenarlı ve sulu kabarcıklı köpük yapıları olarak sınıflandırılırlar. Çok kenarlı köpüklerin içermiş oldukları kabarcık miktarları diğer köpük yapılarına oranla daha fazladır ve bal peteği yapısını oluştururlar. Bira köpüğü ve yumurta beyazının oluşturmuş olduğu köpükler çok kenarlı köpük yapısına iyi bir örnek teşkil ederler. Seyreltik köpüklerde ise çok kenarlı köpük yapısına nazaran kabarcık oranının az olması, kabarcıkların küresel şekillerini korumasını sağlar. Çırpılmış tatlı krema köpüğü seyreltik köpük yapısına örnek verilebilir (Venkatachalam ve ark., 2014). Köpükler esnekliklerine rağmen kararlı bir hale sahip olup şekilsel olarak çok kenarlı yapılarıyla boşlukları doldururlar. Aynı hacimdeki kabarcıklar ise genellikle düzensiz yapıdadırlar (Reinelt ve ark., 2001). Köpük yoğun gözenekli yapısıyla, kısa kurutma süresine ve çok iyi rekonstitüsyon özelliğine sahipken, kabarcıklar birleşme eğilimiyle oluşturmuş oldukları geniş köpük yapılarıyla yüksek bir drenaja neden olurlar (Azizpour ve ark., 2014). Köpük kurutma yönteminde stabil bir köpük yapısının elde edilebilmesi oldukça önemlidir.

Köpük Oluşumunda Yararlanılan Köpük Ajanları ve Stabilizörleri

Köpük ajanları: Köpük ajanları köpük yapısının oluşumunu kolaylaştıran sıvı-sıvı, sıvı-katı arasındaki yüzey gerilimini düşüren yüzey aktif materyalidir (Navam ve Gregory, 1994). Yüzey gerilimini düşürerek köpük stabilitesini sağlayan ve hücresel yapının oluşmasında kullanılan sentetik veya protein yapısındaki köpük ajanlarının hava absorblama mekanizmaları birbirinden farklıdır (Kuzielova ve ark., 2016). Hava kabarcıklarının etkisiyle parçalanmış proteinler, peptit bağlarını meydana

getirerek hidrofobik özellikteki küçük molekül yapılarını oluşturur. Bu işlem çözeltinin yüzey gerilimini azaltır ve hava kabarcıkları için arabirim oluşturur (Panesar, 2013). Protein yapısındaki köpük ajanları, yüzey gerilimini düşürmesi ve köpük içerisinde hava boşluğu yaratmasının yanı sıra moleküller arası hidrojen bağları yardımıyla stabil hava kabarcıklarının oluşumunu sağlar (Kuzielova ve ark., 2016).

Ayrıca protein yapılı köpürtme ajanları (Venkatachalam ve ark., 2014):

- Düşük konsantrde hızlı ve etkili stabil köpük oluşumunu sağlar.
- Çeşitli gıdalara ait pH aralıklarında etkili performans gösterir.
- Köpük oluşumunu önleyen yağ, alkol ve tat maddelerinin bulunduğu ortamda etkili bir performans gösterir.

Tablo 1’de de görüleceği üzere en yaygın kullanıma sahip köpürtme ajanları; yumurta beyazı, yumurta albümini, jelatin, süt proteinleri olarak bilinen kazein, peynir altı suyu proteini ve soya proteinleridir. Bu köpürtme ajanları içerisinde de en sık tercih edileni yumurta beyazıdır. Yumurtada bulunan protein yapılı başlıca köpük ajanlarından yumurta beyazı ya da yumurta albüminin ara yüzeyindeki proteinler, çırpma işlemiyle denatüre olur. Jackson (1995) yumurta beyazı proteinlerinin, yüksek şeker içerikli sistemlere etkisini araştırırken, marshmallow gibi şekerleme üretiminde yüzey alanını büyük ölçüde aktifleştiren en etkili ajanlar olduğunu gözlemlemiştir. Albümin köpüğünün özelliği incelendiğinde, köpük hacim artışı ve stabilitesinin önemi anlaşılmıştır. Oda sıcaklığında çırpılan yumurta beyazından elde edilen köpük yapısı, buzdolabı sıcaklığındaki köpük yapısından daha iri köpük hacmine sahiptir. Yumurta beyazı proteinleri diğer proteinlere nazaran daha hızlı denatüre olduğu için hava-sıvı yüzey gerilimini daha hızlı absorbe eder. Bu sebeple diğer köpürtme ajanları içerisinde daha kısa çırpma süresine sahiptir (Venkatachalam ve ark., 2014).

Köpük stabilizatörleri: Stabilite, havalandırılarak köpürtülmüş ürünler için önemli bir özellik olup, köpük yapısını ek bir işlem boyunca ne kadar süre ile korunduğunu ifade eder. Köpük stabilitesi; kremlenme, drenaj, disproporsiyonasyon ve birleşmeden etkilenir. Dağılmış fazların arasındaki yoğunluk farkı ve sürekli faz kremalaşmaya neden olur (Sadahira ve ark., 2016). Köpük stabilizatörleri, genellikle polisakkarit yapıda olup kararlı bir köpük oluşumunu sağlayan maddelerdir. Polisakkaritlerin köpük stabilitesini geliştirmesi, tabakalar arasındaki yüzey gerilimini arttırmasıyla açıklanabilir. Köpük kurutma işleminde yüksek kurutma verimi ve hızına ulaşabilmesi için köpük stabilizatör konsantrsi optimize edilmelidir. Kurutulacak olan gıdanın kritik stabilizatör seviyesinin altında bir konsantrasyonda çalışılması köpük yapısını kararsızlaştırırken, yüksek dozda çalışılması ise çırpma esnasında olması gereken hava sıkışmasına engel olacağından köpük oluşumu yeterince sağlanamaz (Azizpour ve ark., 2014).

Polisakkaritler, aynı zamanda kıvam sağlayıcı ve jelleştirici özellikleri nedeniyle köpük içerisine ilave edilerek stabiliteyi geliştirirler (Sadahira ve ark., 2016). Karboksimetil selüloz ve selüloz gam yaygın kullanılan

köpük stabilizatörleri olup ksantan gam, arap gamı, nişasta, pektinler ve jelatin gibi kalınlaştırıcı ya da jelleştirici ajan görevinde köpük stabilizatörleri de mevcuttur (Tablo 1). Aynı zamanda gıda içerisine stabilizatörlerle beraber viskozite ayarlayıcı ya da kalınlaştırıcı ve emülsifiye edici bileşenlerin de dahil edilmesiyle başarılı bir köpük yapısı oluşturulabilir (Venkatachalam ve ark., 2014).

Karıştırma

Köpük oluşumunun sağlanması için çırpma, kabarcıklandırma ve çalkalama şeklinde üç yöntem izlenir. Uygulanan yöntemlere bağlı olarak köpük özellikleri değişmektedir. Bu yöntemler arasındaki en belirgin farklılık gereksinim duyulan protein miktarıdır. Protein miktarı en çok çırpma, en az da kabarcıklanmada ihtiyaç duyulur (Hettiarachchy ve Ziegler, 1994).

Gıda proseslerinde kullanılmayan, daha çok basit köpük yapılarının oluşturulmasında başvurulan bir yöntem olan kabarcıklandırma işlemi, sıvı içerisindeki kanalcıklara doğru belirli bir miktar havanın beslenmesi şeklinde olup, sıvı tarafından uygulanan viskos kuvvetine bağlı olarak gerçekleşir. Yüksek gaz akış oranı ve indüklenmiş yüzey viskozitesi büyük kabarcık yapılarını meydana getirir (Venkatachalam ve ark., 2014).

Tablo 1’de de görüldüğü üzere gıda endüstrisinde köpük yapısının oluşturulmasında yaygın olarak kullanılan yöntem çırpma işlemi olup, hava moleküllerinin sıvı içerisine mikser ya da farklı cihazlar yardımıyla hapsedilmesi işlemidir. Köpük içerisinde bulunan hava moleküllerinin miktarı, materyalin çırpılabilirliğiyle alakalıdır (Venkatachalam ve ark., 2014). Köpük yoğunluğu materyalin çırpılma özelliğinin değerlendirilmesinde önemli bir yere sahiptir. Valenzuela ve Aguilera (2013) elma püresini köpürtmek için çırpma işlemi uygulamışlardır. Çırpma işlemiyle beraber elma püresinin hava moleküllerini bünyesine aldığı, bu sırada oluşan kabarcıkların da yukarıya doğru hareketlendiğini ve gazın tutulmasındaki artışla, köpük yoğunluğunun azaldığını gözlemlemiştir.

Çırpma işlemiyle birlikte materyal içerisinde daha fazla hava molekülünün hapsedilmesinden dolayı materyalin kurutulacak olan yüzey alanında bir artış gözlemlenir, bu artışa bağlı olarak da köpük yoğunluğu düşer. Thuwapanichayanan ve ark. (2008)’nin muz köpüğünün kurutulma karakteristiği üzerine yaptıkları çalışmada çırpma süresine bağlı köpük yoğunluğundaki değişim gözlemlenmiş, çırpma süresinin artmasıyla, köpük yoğunluğunda azalmanın gerçekleştiği kaydedilmiştir. Fakat çırpma süresinin gereğinden fazla uzaması mekanik deformasyonu arttıracığından, köpük yapısına zarar verir. Kabarcık yapısı zarar görmüş köpüğün akışkan film kalınlığında artış yaşanacağından köpük yoğunluğu artar ve materyalin kurutma süresi uzar (Venkatachalam ve ark., 2014).

Çalkalama işlemi, çırpma işleminden daha çok kabarcıklandırmaya benzer. (Hettiarachchy ve Ziegler, 1994). Çalkalamayla elde edilen köpük yapısının hacmi, çalkalama sıklığına, kullanılan kabın şekline ve hacmine, protein içeriğine ve sıcaklığa bağlı olarak değişir. Aynı şartlar altında çalkalama işlemi, çırpma ve kabarcıklanmadan daha yavaş seyrettiği için köpük oluşumu için yaygın kullanılan bir yöntem değildir (Venkatachalam ve ark., 2014).

Kurutma

Köpürtülerek yüzey alanı arttırılan gıda maddesinin kurutma özelliği: köpük yoğunluğu, hacmi, stabilitesi, kabarcık yapısı gibi özelliklerine bağlı olarak değişkenlik gösterir (Venkatachalam ve ark., 2014). Köpük kurutma; kurutucu tipine, kurutma şartlarına, büyük ölçüde de işlem uygulanacak materyal ve prosese bağlıdır (Kudra ve Ratti, 2006).

Gıda materyallerinin kurutulması genellikle havayla ve vakumla müdahale şeklindedir. Vakum kurutma işlemi, nispeten daha düşük sıcaklıklarda su buharının uzaklaştırılmasını sağlandığından, genellikle dondurularak kurutmada tercih edilir (Chen, 2008). Köpük kurutma işlemi için vakum kurutuculardan yararlanılabileceğinin yanı sıra yaygın olarak atmosferik koşullarda çalıştırılan bantlı kurutuculardan da faydalanılmakta olup kuruluş ve işletme masraflarının düşük olması; vakumda kurutma ve dondurularak kurutmaya elde edilen ürün kalitesine yakın kalitede fakat dondurarak kurutmaya kıyasla çok daha uygun bir maliyetle elde edilebilmektedir (Cemeroğlu, 2013).

Köpük kurutma işlemi öncesi gerekli ajan ve stabilizatörler yardımıyla karıştırılarak köpük oluşumu sağlanan ürün, tabaka şeklinde yayılarak genellikle atmosferik basınç altında ısıtılmış havayla kurutulur. Nem uzaklaştırılması amacıyla yüzey alanı genişletilen köpüğün kabarcıkları içerisindeki kanalcıklar yardımıyla nem uzaklaştırılması mantığına dayanan kurutma işlemi, orta derecedeki sıcaklıklarda ek işlemlerle beraber (mikrodalgalı ya da dondurarak köpük kurutma gibi) gerçekleştirilebilir (Venkatachalam ve ark., 2014). Kurutma işlemi öncesi köpük yapısına dönüştürülen ürünün mevcut toplam yüzey alanının genişlemesi sonucuyla kurutma süresi kısalmakta aynı zamanda kurutma verimi yükselmektedir (Kadam ve ark., 2010).

Köpük Kurutma Yöntemiyle Kurutulmuş Gıdalar

Meyveler

Yapıları gereği yüksek su içeriğine sahip olan meyvelerin, su aktivitesinin yüksek olması enzim aktivitesini artırır ve bu durum mikrobiyal gelişimlere uygun bir ortam sağlar. Uygulanmak istenen kurutma işleminin mantığı, daha önceden belirtildiği gibi yapıda bulunan su içeriğinin düşürülmesi ve buna bağlı olarak su aktivitesinin azaltılıp ürün stabilitesinde artışın sağlanmasıyla raf ömrünün uzatılmasıdır (Koç ve Ertekin, 2016). Köpük kurutma işlemi için meyvelerin köpük formuna dönüştürülmesi gerekir. Yumurta ve süt gibi gıdalar ilave köpük ajanları eklenmeksizin yoğun gözenekli bir köpük yapısı oluşturabilirken, bazı gıdalarda köpük yapısının oluşumu köpük ajanları yardımıyla sağlanmaktadır. Raharısıfa ve Ratti (2010a) yumurta beyazı proteini ve metil selülozla köpük kurutmaya hazırlanmış elma suyu köpüğünün karakterizasyonunu incelediklerinde, yumurta beyazı köpüğünün, metil selüloz köpüğünden daha az stabil olmasına rağmen güçlü bir yapı gösterdiği ve yüksek köpük kapasitesine sahip olduğunu ve elma suyu içerisindeki köpük ajanlarının konsantrasyonuyla beraber köpük stabilitesinin de arttığını bildirmişlerdir.

Meyvelerin kurutulmaları esnasında ve/veya sonrasında yüksek oranda şeker ve asit içeriğine sahip

olmaları yapışma, yüksek nem çekişi (higroskopisi), düşük çözünebilirlik gibi bir takım sorunlara sebep olmaktadır. Yapılarında bulunan früktoz, glikoz, sakkaroz gibi düşük molekül ağırlığına sahip şekerlerle; sitrik, malik, tartarik ve glukonik asit gibi organik asitleri içermelerinden dolayı bu bileşenlerin camsı geçiş sıcaklıkları oldukça düşüktür. Camsı geçiş sıcaklığının düşük olması, kurutma işlemi esnasında yapışkanlaşıp, ağdalaşan ürünlerin temel sebebidir (Koç ve Ertekin, 2016). Köpük kurutma işlemindeki bu problemlerin önüne geçilerek, etkin bir kurutma işleminin sağlanabilmesi için belirlenen oranlarda camsı geçiş sıcaklığı yüksek taşıyıcı materyaller (nişasta, maltodekstrin gibi), köpük ajanları ve/veya stabilizörleri eklenebilir.

Kadam ve ark. (2014) köpük kurutma metodu ile elde edilen mango tozunun, farklı sıcaklıklarda ve konsantrelerde köpürtme ajanı olarak sütü kullanmış ve biyokimyasal özelliklerini saptamışlardır. Elde edilen veriler sonucunda köpük kurutma metoduyla kurutulan mango tozunun iyi besin kalitesi, yüksek gıda güvenliği ve uzun raf ömrüne sahip olduğu tespit edilmiş olup, yüksek askorbik asit, toplam karoten ve mineral miktarı gibi gıdanın biyokimyasal içeriklerinin en az zararlı muhafaza edildiğini bulgulamışlardır. Kadam ve ark. (2011) ise mandalina pulpunu süt, yumurta beyazı ve karboksimetil selüloz ile farklı oranlarda karıştırarak, 65-85°C'ta köpük kurutma yöntemi ile kurutmuşlardır. Araştırmacılar köpük kurutma yöntemi ile elde edilen mandalina tozunun askorbik asit içeriğinin köpük kurutma ajanının tipine bağlı olarak değiştiğini ve karboksimetil selülozun diğer köpürme ajanlarına kıyasla bu açıdan daha iyi olduğunu bildirmişlerdir. Farklı iki konsantredeki yacon meyve suyunun köpük kurutulmasını gerçekleştiren Franco ve ark. (2016) köpürtme ajanı olarak yumurta albüminini seçmişler, oluşan köpük yapısını farklı kalınlıklarda yayarak, belirlenen sıcaklıklarla müdahalede bulunup ürünün fizikokimyasal ve mikroyapısal özelliklerini incelemişlerdir. Elde edilen verilerde artan sıcaklıklarla beraber örneğin su aktivitesinin ve nem içeriğinin azaldığı, yacon meyve suyundan elde edilen tozların, konsantre suyuna göre daha fazla su emme kapasitesine sahip olduğu bilgisine ulaşılmıştır. Kandasamy ve ark. (2014) papaya meyvesinin pulpunun köpük kurutma yöntemi ile kurutulmasının optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. Belirlenen sıcaklıklarda ve miktarlarda köpük stabilizörü olarak metil selüloz, gliserol monostearat, köpürtme ajanı olarak da yumurta beyazını kullanarak en iyi kalitede papaya tozu üretim parametrelerini belirlemişlerdir. Ayrıca köpürtülerek kurutulan papaya pulpunun kurutma süresinin, köpürtülmeden kurutulan papaya pulpundan daha az olduğu saptanmış olup, kurutma süresinin köpük kalınlığı arttıkça ve sıcaklık düştükçe artacağı bildirilmiştir. Bu hipotezlerini, kurutmanın genel mantığına uygun olmakla birlikte, köpük kurutma metoduna özgü köpük kalınlığının artmasıyla nem gideriminin azalacağına ve köpürtülmeden kurutulan papaya meyvesine kıyasla köpük haline getirilmiş papaya pulpunda mevcut olan suyun kolayca buharlaşmasına neden olan ince filmlerin varlığına dayandırmaktadırlar.

Rajkumar ve ark. (2007) yapmış oldukları çalışmada, köpürtülmüş mango püresinin sürekli tip kurutucularda kurutulma karakteristiğini incelemişlerdir. Pulptan

başarılı bir köpük yapısının oluşabilmesi için köpürtme ajanı olarak yumurta albümini, stabilizatör olarak da metil selüloz kullanılmıştır. Köpürme işlemi uygulanmaksızın kurutulan ve köpürtülerek kurutulmuş mango tozlarının nem difüzyonları sırasıyla 5.3×10^{-9} ve 9.7×10^{-9} m²/s olarak hesaplanmıştır. Bu durum köpürtülerek kurutulan mangonun kuruma hızının daha yüksek olduğunu ve köpürtülerek sağlanan kurutmanın, köpürtülmeden kurutulan mango örneğinden daha az sıcaklık gerektirdiğini göstermektedir.

Branco ve ark. (2016) uvaia meyvesinin köpük kurutma yöntemi ile kurutulmuş toz formuna dönüşümünü, ürün kalitesine bağlı olarak modellemişlerdir. Uvaia meyvesi albümin, karboksimetil selüloz, ksantan gam gibi ajan ve stabilizatörlerle karıştırılıp, 60-70°C sıcaklıklarda kurutulmuştur. Albüminin eklenmesi, elde edilen nihai ürünün renk azalmasına sebep olur. Kurutma ajanı olarak sadece albümin ile hazırlanan köpük, üç farklı köpükleştirici ajanın Köpük ajanının eklenmesiyle stabil köpük yapısı sağlanmış uvaia pulpunun, kurutma eğrileri Page modeli ile uyum göstermiştir. Sıcaklığın köpürtme ajanı olarak sadece albümin içeren formülasyonlarda kurutma süresini etkilemediği, buna karşılık ksantan gam, karboksimetil selüloz ve albümin içeren formülasyon için kurutma süresinin sıcaklığa bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Artan kurutma sıcaklığının etkisiyle kurutma süresinin kısaltıldığı ve difüzyon katsayısı değerinin yükseldiği gözlemlenirken, kurutma işleminden sonra ksantan gam, karboksimetil selüloz ve albümin içeren toz üründe; sadece albümin içeren toz ürüne kıyasla daha fazla fenolik madde ve antioksidan içeriği bulgulanmıştır.

Galdino ve ark. (2016) atemoya meyvesi pulpunu, Emustab (monoglisericid, sorbitan monostearate ve polisorbate) ve Super Liga Neutra (sükroz, karboksimetil selüloz ve guar gam) ticari isimle anılan köpürtme ajanları ile karıştırarak farklı kalınlıklarda 60-80°C kurutma sıcaklığında kurutmuşlardır. Çalışma sonrası elde edilen verilere dayanarak köpük kalınlığı ve kurutma hızının bağlantılı olduğu, kalınlık arttıkça kurutma hızının düştüğü, bütün çalışma şartlarına en uygun modellemenin ise Midilli modeli (Galdino ve ark., 2016) olduğu bulgulanmıştır. Kurutma işleminin mantığı incelendiğinde kurutma hızı ürün kalınlığının yükselmesiyle birlikte azalmakta ve kuruma süresi uzamaktadır. Fakat köpük kurutma, köpürtme işlemi uygulanmaksızın gerçekleştirilen kurutma yöntemlerine kıyasla sağlamış olduğu yüksek yüzey alanı nedeniyle daha hızlı kurutma işlemi gerçekleştirilmesine imkan sağlamaktadır.

Raharısfa ve Ratti (2010a) yaptıkları çalışmayla elma suyunun köpürtülüp dondurularak kurutulmasındaki deneysel verilerin incelemesini gerçekleştirmişlerdir. Bunun için elma suyu, metil selüloz ve/veya yumurta beyazı ile belirli oranlarda karıştırılarak köpük oluşumu sağlanmış ve vakum altında dondurularak kurutulması gerçekleştirilmiştir. Belirli aralıklarla örnekteki su kaybı ve sıcaklığı izlenmiş, köpük kinetiğini ve sıcaklık eğrilerini temsil eden matematik modeli belirlenerek, eşit kalınlıkta yayılan köpükler karşılaştırılmış ve köpürtme süresinin azaldığı saptanmıştır. Ayrıca köpük gelişiminin artmasıyla düşük yoğunluğa sahip materyalin kurutucuya verilen miktarı azaldığını bildirmişlerdir.. Araştırmacılar aynı yıl içerisinde elma suyu ile gerçekleştirmiş oldukları

çalışmada, köpürtülüp dondurularak kurutulan örneklerin, köpürtülmeden dondurularak kurutulan referans örneğine kıyasla daha higroskopik olduğunu saptamışlardır. Köpük kurutma yöntemi için kullanılan köpürtme ajanlarının farklı kimyasal bileşimlerine ve suyla olan etkileşimlerine bağlı olarak metil selülozla elde edilen köpük yapısının, yumurta beyazı kullanılarak elde edilen köpük yapısına nazaran nemi daha kolay absorbladığı bulgulanmıştır (Raharısfa ve Ratti, 2010b).

Kadam ve Balasubramanian (2011) domates suyunun köpük kurutma yöntemi ile kurutulmasını incelemiş olup, köpük yapısı oluşumu için farklı oranlarda yumurta beyazı kullanmışlar ve belirlenen hava sıcaklıklarında kurutmayı sağlamışlardır. Araştırmacılar çıkan sonuçların karşılaştırılması sonucu, eklenen köpük ajanı miktarının artmasıyla kurutma süresinin kısaltıldığını ve rengin daha iyi korunduğunu bulgulanmışlardır.

Wilson ve ark. (2012) da domates suyunun toz forma dönüştürülmesinde köpük kurutma yöntemini kullanmışlardır. Çalışmalarında köpük ajanı ve stabilizatörü olarak karboksimetil selüloz, süt ve yumurta beyazı kullanılmış ve oluşan köpük yapısı 65-85°C sıcaklıklar arasında kurutmuştur. Köpürtme ajanı olarak kullanılan karboksimetil selülozla elde edilen domates tozu, diğer köpürtme ajanları ile elde edilen tozlara oranla daha fazla likopen içeriğine sahip olduğundan domates tozu üretiminde uygun köpürtme ajanı olarak bildirilmiştir.

Deniz Ürünleri

Toz gıda karışımı sektöründe uygun maliyetlerde gerek uygulanabilirlik gerekse süreklilik bakımından deniz ürünlerinin kurutulması ilginç, farklı ve geleceğe yönelik geliştirilebilir bir alan olduğu söylenebilir.

Djaeni ve ark. (2015) karragenan adlı deniz yosununu köpük kurutma yöntemi ile kurutarak, kurutulma oranını ve toz ürünün görünüm kalitesini incelemişlerdir. Köpük kurutma yöntemi için uygun hale getirilen karragenan yumurta beyazı ve köpük sabitleyici metil selüloz ile karıştırılarak köpük yapısı oluşturulmuş, 80°C'ta hava kurutucuda kurutulmuştur. Yumurta beyazı ve metil selüloz miktarının artmasıyla köpük yapısının gelişerek yüzey alanının genişlediği, buna bağlı olarak kurutma hızının arttığı ve yüksek hava sıcaklığının kurutma süresini kısalttığı gözlemlenmiştir.

Azizpour ve ark. (2014) karidesin köpük kurutma yöntemi ile kurutulması esnasında kurutma parametrelerini ve kurutma sıcaklığının etkilerini gözlemlenmişler ve buna bağlı olarak köpük kurutma optimizasyonunu saptamışlardır. Köpük ajanı olarak ksantan gam kullanılmış ve 45-90°C arasında kurutma sağlanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, kurutma sıcaklığına bağlı olarak kurutma hızının arttığı, sürenin ise kısaltıldığı gözlemlenmiştir.

Diğer Toz Ürünler

Sramek ve ark. (2015) bal ve glikoz şurubu karışımını köpük kurutma yöntemi ile kurutarak yüksek kalitede toz üretimi için farklı miktarlarda peynir altı suyu protein izolatu ile çalışmışlardır. Araştırmacılar köpük haldeki bal ve glikoz şurubu karışımının, vakum altında nispeten düşük sıcaklıklarda daha hızlı kurutma işlemi ile yüksek kalitede toz üretiminin gerçekleştirilebildiğini bildirmişlerdir.

Sonuç

Köpük kurutma yöntemi sıvı/yarı sıvı ya da akışkan hale getirilebilecek gıda maddelerinin kurutulmuş toz forma dönüştürülmesinde avantaj sağlamasının yanı sıra dondurularak kurutma gibi yüksek kalitede ürün elde edilebilen yöntemlere alternatif olabilecek ürün sağlanmasından dolayı gelecek vadeden bir yöntemdir.

Köpük kurutma yöntemi ile kurutulmuş toz gıda ürünlerinin fiziksel özellikleri ile verimi;

- Uygulama sıcaklığına,
- Kurutulacak köpük tabakasının yüzey gerilimine (yüzey alanı) ve kalınlığına,
- Kuru madde içeriğine bağlı olarak değişmektedir.

Köpük kurutma yöntemi ile kurutulacak olan gıdaların kimyasal içeriği köpük oluşumunu etkiler.

Tek başına köpük oluşumu sağlanamayan gıdalarda yumurta ve süt proteinleri gibi köpük ajanları takviyesine başvurulur, gelişimi sağlanan köpük yapısının korunabilmesi de köpük stabilizatörleri ile sağlanır. Köpük ajanları ve stabilizatörlerinin miktarına bağlı olarak köpük kapasitesinde gerçekleşen değişim aynı zamana karıştırma süresiyle de bağlantılıdır.

Köpük oluşumu esnasında uygulanan karıştırma işleminin süresi, kullanılan köpürtme ajanına, kurutma sıcaklığına ve gıdaya bağlı olarak değişim gösterir. Köpük gelişimiyle beraber küçük kabarcıkların yoğunluğu, büyük kabarcıklara oranla daha fazla artış göstereceğinden buna bağlı olarak yüzey gerilimi artan köpük yapısının hacimsel olarak boyutu geniş olacağından köpük yoğunluğu düşer ve kurutma hızı artar. Kurutma hızı sıcaklıkla da alakalı olup sıcaklığın artmasıyla kurutma hızı da artarken kurutma süresi azalır.

Köpük kurutma işlemiyle kurutulmuş gıdalar;

- Besleyici özelliklerini kaybetmeksizin uzun yıllar muhafaza edilir,
- Uzun raf ömrüne sahiptir,
- Yeniden sulandırılabilir instant bir yapıdadır,
- Diğer kurutma yöntemlerine kıyasla daha uygun bir maliyettedir,
- Daha az depolama alanı ve ulaşım kolaylığına sahiptir,
- Yüksek kalitededir.

Kaynaklar

Abbasi E, Azizpour M. 2016. Evaluation of physicochemical properties of foam mat dried sour cherry powder. *LWT-Food Sci Technol*, 68: 105-110.

Azizpour M, Mohebbi M, Khodaparast MHH, Varidi M. 2014. Optimization of foaming parameters and investigating the effects of drying temperature on the foam-mat drying of shrimp (*Penaeus indicus*). *Drying Technol*, 32: 4, 374-384.

Baniel A, Fains A, Popineau Y. 1997. Foaming properties of egg albumen with a bubbling apparatus compared with whipping. *J Food Sci*, 62(2): 377-381.

Branco IG, Kikuchi TT, Argandona EJS, Moraes ICF, Haminiuk CWI. 2016. Drying kinetics and quality of uvaia (*Hexachlamys edulis* (O. Berg)) powder obtained by foam-mat drying. *Int J Food Sci Tech*, 51: 1703-1710.

Cemeroğlu BS. 2013. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, Meyve ve sebzelerin kurutulması, s:582, Bizim Grup Basımevi, Ankara.

Chaves MA, Barreto IMA, Reis RC, Kadam DM. 2013. Physicochemical and sensory properties of purple Brazilian cherry (*Eugenia uniflora*, L.) foams. *Int J Food Sci Tech*, 48: 1688-1697.

Chen XD. 2008. Food drying fundamentals. Chen XD, Mujumdar AS. *Drying Technologies in Food Processing*. India: Blackwell publishing. S:2-8. ISBN-13:978-1-4051-5763-6, ISBN-10:1-4051-5763-1.

Djaeni M, Prasetyaningrum A, Sasongko SB, Widayat W, Hii CL. 2015. Application of foam-mat drying with egg white for carrageenan: drying rate and product quality aspects. *J Food Sci Technol*, 52(2): 1170-1175.

Durian DJ, Weitz DA, Pine DJ. 1991. Multiple light-scattering probes of foam structure and Dynamics. *Science*, 252: 686-688.

Falade KO, Adeyanju KI, Uzo-Peters PI. 2003. Foam-mat drying of cowpea (*Vigna unguiculata*) using glyceryl monostearate and egg albumin as foaming agents. *Eur Food Res Technol*, 217: 486-491.

Falade KO, Okocha JO. 2012. Foam-mat drying of plantain and cooking banana (*Musa spp.*). *Food Bioprocess Tech*, 5: 1173-1180.

Franco TS, Perussello CA, Ellendersen LN, Masson ML. 2016. Effects of foam mat drying on physicochemical and microstructural properties of yacon juice powder. *LWT-Food Sci Technol*, 66: 503-513.

Galdino PO, de Figueirêdo RMF, Queiroz AJ de M, Galdino PO. 2016. Drying kinetics of atemoya pulp. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(7): 672-677.

German JB, Phillips L. 1994. Protein interactions in foams protein – gas phase interactions, 181-203 p, *Protein Functionality in Food Systems*, Hettiarachchy NS, Ziegler GR (Ed). Newyork: Marcel Dekker.

Jackson EB. 1995. *Sugar confectionery manufacture* (2nd Ed.). London: Black Academic and Professional.

Kadam DM, Balasubramanian S. 2011. Foam mat drying of tomato juice. *J Food Process Pres*, 35: 484-495.

Kadam DM, Raj Rai D, Patil RT, Wilson RA, Kaur S, Kumar R. 2011. Quality of fresh and stored foam mat dried mandarin powder. *Int J Food Sci Tech*, 46: 793-799.

Kadam DM, Wilson RA, Chanha S, Grewal MK, Sharma M. 2014. Evaluation of physical and chemical properties of foam-mat dried mango (*Mangifera indica*) powder during storage. *J Food Process Pres*, 38: 1866-1874.

Kadam DM, Wilson RA, Kaur S. 2010. Determination of biochemical properties of foam-mat dried mango powder. *Int J Food Sci Tech*, 45: 1626-1632.

Kandasamy P, Varadharaju N, Kalemullah S, Maladhi D. 2014. Optimization of process parameters for foam-mat drying of papaya pulp. *J Food Sci Technol*, 51(10): 2526-2534.

Karim AA, Wai CC. 1999. Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) pure. Stability and air drying characteristics. *Food Chem*, 64: 337-343.

Kaushal M, Sharma PC, Sharma R. 2013. Formulation and acceptability of foam mat dried seabuckthorn (*Hippophae salicifolia*) leather. *J Food Sci Technol*, 50(1): 78-85.

Koç M, Kaymak Ertekin F. 2016. Şeker içeriği yüksek gıdaların püskürtülerek kurutulması: ürün kazanımı ve toz ürün özelliklerinin geliştirilmesi. *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(5): 336-344.

Kudra T, Ratti C. 2006. Foam-mat drying: energy and cost analyses. *Canadian Biosystems Engineering*, 48:3.27-3.32.

Kuzielova E, Pach L, Palou M. 2016. Effect of activated foaming agent on the foam concrete properties. *Constr Build Mater*, 125: 998-1004.

Muthukumar A, Ratti C, Raghavan VGS. 2008. Foam mat freeze drying of egg white – mathematical modeling part 2: freeze drying and modeling. *Drying Technol*, 26(4):513-518.

- Panesar DK. 2013. Cellular concrete properties and the effect of synthetic and protein foaming agents. *Constr Build Mater*, 44: 575-584.
- Prakotmak P, Soponronnarit S, Prachayawarakorn S. 2011. Effect of adsorption conditions on effective diffusivity and textural property of dry banana foam mat. *Drying Technol*, 29: 1090-1100.
- Raharitsifa N, Ratti C. 2010a. Foam-mat freeze-drying of apple juice part 1: experimental data and ann simulations. *J Food Process Eng*, 33: 268-283.
- Raharitsifa N, Ratti C. 2010b. Foam-mat freeze-drying of apple juice part 2: stability of dry products during storage. *J Food Process Eng*, 33: 341-364.
- Raharitsifa N, Genovese DB, Ratti C. 2006. Characterization of apple juice foams for foam-mat drying prepared with egg white protein and methylcellulose. *J Food Sci*, 71(3): E143-E151.
- Rajkumar P, Kailappan R, Viswanathan R, Raghavan GSV, Ratti C. 2007. Foam mat drying of alphonso mango pulp. *Drying Technol*, 25(2): 357-365.
- Rajkumar P, Kailappan R, Viswanathan R, Raghavan GSV. 2007. Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer. *J Food Eng*, 79: 1452-1459.
- Reinelt D, Boltenhagen P, Rivier N. 2001. Deformed foam structure and transitions in a tube. *Eur Phys J E Soft Matter*, 4: 299-304.
- Sadahira MS, Rodrigues MI, Akhtar M, Murray BS, Netto FM. 2016. Effect of egg white protein-pectin electrostatic interactions in a high sugar content system on foaming and foam rheological properties. *Food Hydrocolloid*, 58: 1-10.
- Salahi MR, Mohebbil M, Taghizadeh M. 2015. Foam-mat drying of cantaloupe (*cucumis melo*): Optimization of foaming parameters and investigating drying characteristics. *J Food Process Pres*, 39: 1798-1808.
- Sankat CK, Castaigne F. 2004. Foaming and drying behaviour of ripe bananas. *LWT-Food Sci Technol*, 37: 517-525.
- Sramek M, Woerz B, Horn H, Weiss J, Kohlus R. 2016. Preparation of high-grade powders from honey-glucose syrup formulations by vacuum foam-drying method. *J Food Process Pres*, 40: 790-797.
- Sramek M, Schweiggert RM, Van Kampen A, Carle R, Kohlus R. 2015. Preparation of high-grade powders from tomato paste using a vacuum foam drying method. *J Food Sci*, 80: E1755- E1762.
- Thuwapanichayanan R, Prachayawarakorn S, Soponronnarit S. 2008. Drying characteristics and quality of banana foam mat. *J Food Eng*, 86: 573-583.
- Valenzuela C, Aguilera JM. 2013. Aerated apple leathers: effect of microstructure on drying and mechanical properties. *Drying Technol*, 31(16): 1951-1959.
- Venkatachalam S, Sangamithra A, John SG, Kuppuswamy K. 2014. Foam mat drying of food materials: a review. *J Food Process Pres*, 39: 3165-3174.
- Vernon- Carter EJ, Espinosa-Paredes G, Beristain CI, Romero-Tehuitzil H. 2001. Effect of foaming agents on the stability, rheological properties, drying kinetics and flavour retention of tamarind foam-mats. *Food Res Int*, 34: 587-598.
- Wilson RA, Kadam DM, Kaur S, Manisha. 2012. Influence of foam mat drying on quality of tomato powder. *Int J Food Prop*, 15(1): 211-220.
- Wilson RA, Kadam DM, Kaur S. 2010. Determination of biochemical properties of foam-mat dried mango powder. *Int J Food Sci Tech*, 45: 1626-1632.
- Zheng XZ, Liu CH, Zhou H. 2011. Optimization of parameters for microwave assisted foam mat drying of blackcurrant pulp. *Drying Technol*, 29(2): 230-238.