

## KÖPÜK KURUTMA TEKNİĞİNİN MEYVE VE SEBZE İŞLEMEDE KULLANIMI

İnci ÇINAR<sup>1\*</sup> ve Fatma Kevser ERAFŞAR<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, K.Maraş/Türkiye

<sup>2</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim dalı, K.Maraş/Türkiye

### Makale Künye Bilgisi:

Çınar, İ., & Erafşar, F. K. (2018). Köpük kurutma tekniğinin meyve ve sebze işlemede kullanımı. *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 19(2), 89-100.

Makale Bilgileri	Öz
<b>Makale Tarihiçesi:</b> Geliş: 14 Mart 2018 Kabul: 12 Aralık 2018	Gıda endüstrisi son yıllarda hazır ve kolay tüketilebilir gıda talebi, sağlıklı beslenme trendi ve sürekli değişen tüketici istekleri doğrultusunda toz hazır gıda üretiminde yenilikçi çalışmalar ve girişimci projeler gerçekleştirmiştir. Toz hazır gıda üretilmesinde kullanılan kurutma teknikleri arasında köpük kurutma tekniği giderek artan bir önem kazanmıştır. Köpük kurutma sıvı gıdaların köpük oluşturu ve stabilizör ajanlar yardımıyla köpüklendirilerek yüksek kuruma yüzey alanına sahip hale getirilmesi ve köpüğün sıcak hava akımıyla kurutulması esasına dayalı bir tekniktir. Köpük kurutma hemen tüm gıdalara uygulanabilme, kuruma süresini kısaltarak besinsel kalite kayıplarını azaltma, dondurularak kurutulmuş veya sprey kurutulmuş ürün kalitesinde üretime olanak sağlama ve daha düşük maliyet gibi avantajlara sahiptir. Köpük kurutma ile rekonstitüsyon özelliği yüksek toz gıdalar üretilmektedir. Bu açıdan çalışmanın amacı köpük kurutma tekniğinin esasları, köpük oluşumu ve özellikleri, meyve ve sebzelerin işlenmesinde kullanımı ve köpük kurutulmuş ürünlerin raf ömürleri ile ilgili son çalışmalar hakkında bilgi vermektir.
<b>Anahtar Kelimeler:</b> köpük kurutma; köpük ajanları; stabilizör; kuruma hızı; raf ömrü.	

## APPLICATIONS OF FOAM MAT DRYING IN FRUIT AND VEGETABLE PROCESSING

Article Info	Abstract
<b>Article History:</b> Received: March 14, 2018 Accepted: December 12, 2018	Food industry recently has been performed innovative and entrepreneur projects on powdered food production under the direction of ready and fast food demand, trends in healthy nutrition and rapid changing consumer demands. Foam mat drying has gained growing interest among other powdered food production techniques. Foam mat drying is based on foaming of liquid foods by foaming and stabilizing agents to provide high drying surface area and followed by hot air drying. Foam mat drying has advantages such as applicability to nearly all types of foods, reduction of nutritional quality losses by decreasing drying time, production of high quality dried foods as high as lyophilized and spray dried foods and low manufacturing costs. Foam mat drying produces such powdered foods having high reconstitution properties. Therefore, the aim of the study is to summarize recent studies on fundamentals of foam mat drying, foaming and foam properties, applications in fruit and vegetable processing and shelf life of foam mat dried foods.
<b>Keywords:</b> foam mat drying; foaming agent; stabilizer; drying rate; shelf life.	

## 1. Giriş

Geleneksel gıda muhafazası yöntemlerinden biri olan kurutmanın gıda işlemede önemli bir yeri bulunmaktadır. Temel olarak gıdadaki su içeriğini ve su aktivitesini düşürmeyi hedefleyen kurutma işlemi ile uzun raf ömrüne sahip, sağlıklı ve standart bir ürün elde edilebilmektedir. Kurutma esnasında kurutulan ürünlerdeki nem içeriği %1-5 seviyesine indirilerek mikrobiyel bozulmalar ve istenmeyen enzimatik, kimyasal, biyokimyasal, duyuşsal ve tekstürel değişimler kontrol altına alınabilmektedir. Ağırlık ve hacimdeki düşüş ise paketleme, depolama ve nakliye masraflarını azaltılarak ekonomik açıdan avantaj sağlanmaktadır (Sangamithra vd. 2015).

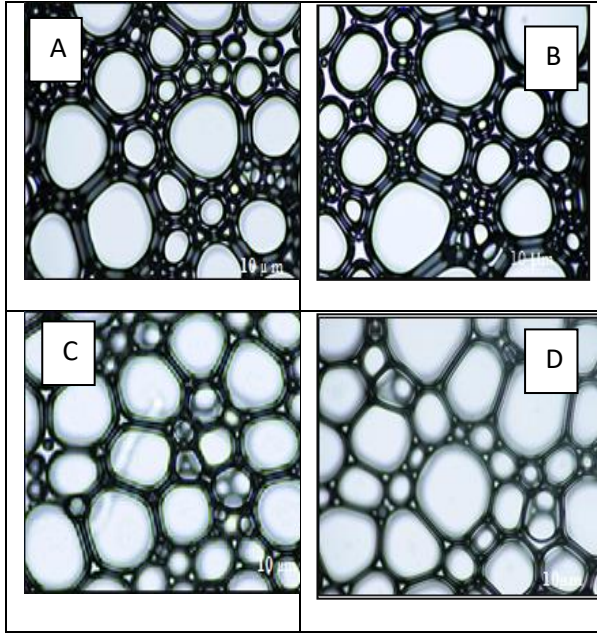
Gıdaların kurutulmasında işlenecek gıdanın özelliklerine göre çok farklı teknikler ve ekipmanlar kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan teknik sıcak hava kurutma tekniğidir ancak gıdanın uzun süre sıcak havaya maruz kalması sebebiyle kurutulmuş ürün kalitesinde olumsuz değişikliklere sebep olabilmektedir. Bu açıdan bir yandan termal olmayan kurutma teknikleri üzerindeki çalışmalar devam etmekte diğer yandan da sıcak hava kurutma süresinin kısaltılarak gıdada istenmeyen olumsuz değişmelerin sınırlandırılmasına yönelik iyileştirme çalışmaları yürütülmektedir. Köpük kurutma tekniği sıcak hava kurutma süresinin kısaltılması, kuruma hızının artırılması ve kurutulmuş gıda kalitesinin daha iyi korunması gibi hedeflerle kullanılmaktadır. Köpük kurutma tekniğinin kuruma süresini kısaltması temel olarak köpüğün çok geniş evaporasyon yüzey alanına sahip olması ve sıvı gıdanın baloncuk üzerinde yayılma kalınlığının oldukça sınırlı olmasından kaynaklanmaktadır. Kuruma hızını arttıran ve kuruma süresini kısaltan bu durumun dezavantajı ise yüksek köpük hacminin ve geniş köpük yayılma alanının kurutma ünitesinin kapasitesini düşürmesidir. Çalışmanın amacı köpük kurutmanın esasları, köpük oluşumu, köpük ajanlarının özellikleri, köpük kurutmanın meyve ve

sebze işlemede kullanımı örnekleri ve kurutulmuş ürünlerin raf ömürleri ile ilgili literatürden seçilmiş son çalışmaların özetlenmesidir.

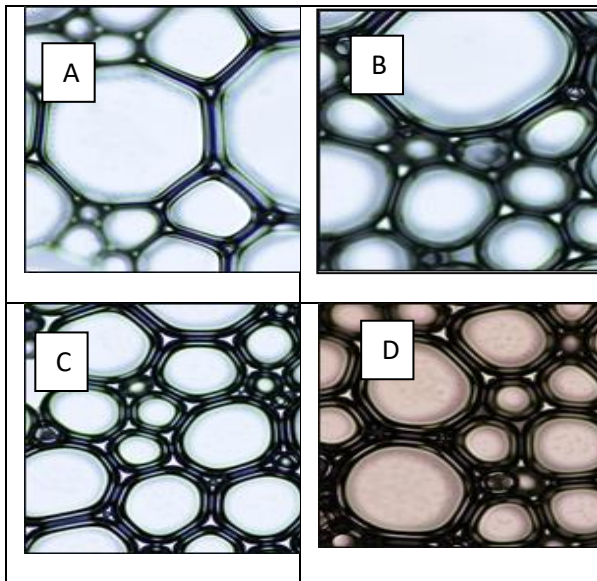
## 2. Köpük Oluşumu ve Köpük Ajanlarının Özellikleri

Köpük, gaz fazın sürekli faz olarak adlandırılan sıvı faz içinde dağılmasıyla oluşan kolloidal bir dispersiyondur (Sangamithra vd. 2015). Sentetik veya protein yapıda olabilen köpük ajanı ise pratikte sıvı-sıvı veya gaz-sıvı arasındaki yüzey gerilimini düşürerek köpük oluşumunu kolaylaştıran yüzey aktif madde olarak tanımlanabilir. Köpük oluşumunu etkileyen en önemli faktörler gıdanın tipi, köpük ajanı ve stabilizörün cinsi, konsantrasyonu, köpüklendirme süresi ve hızı olarak tanımlanmaktadır. Çınar ve Erafşar (2018) tarafından yapılan bir çalışmada (henüz yayınlanmamış) köpük ajanı olarak çövenotu tozu kullanılmış, farklı karıştırma süresi (1500rpm, 1-5dak) ve konsantrasyonun (%2, 3, 4 ve 6) köpük oluşumuna etkileri incelenmiş ve köpük görüntüleri Nikon marka Eclipse 80i model trinoküler mikroskop ile oluşturulmuştur. Şekil 1'de görüldüğü üzere, çövenotu konsantrasyonu arttıkça köpük büyüklüğü düşmekte, köpük yüzey alanı arttığı için yüzeye yayılan sıvı gıda miktarı artmakta ve yüzeyden suyun buharlaştırılma miktarı ve kuruma hızı artmaktadır.

Şekil 2'de görülmekte olduğu üzere, aynı köpük ajanı konsantrasyonunda (%4) karıştırma süresi(1-5dak) arttıkça baloncuk büyüklüğü düşmekte, oluşan baloncuk sayısı ve dolayısıyla buharlaşma yüzey alanı artmakta ancak bu etki, kritik karıştırma süresinden sonra oluşan baloncukların birleşmesine neden olduğu için, düşmektedir.



**Şekil 1.** Farklı konsantrasyonlardaki çövenotu çözeltilerinin trinoküler mikroskop köpük görüntüleri (A:%2, B:%3, C:%4, D:%6)



**Şekil 2.** %4'lük çövenotu çözeltisinin farklı çırpma süreleri sonundaki trinoküler mikroskop köpük görüntüleri (A:1 dak, B:2 dak, C:3 dak, D:4 dak)

Köpük kurutma prosesinde köpüğün özelliklerini belirlemede en yaygın kullanılan parametreler köpük stabilitesi, köpük genişmesi (ekspansiyon), köpük yoğunluğu ve köpük drenaj hacmidir. Köpük stabilitesi Eşitlik 1'de ifade edildiği üzere belirli hacimdeki behere sıkıştırılmadan yerleştirilen

köpüğün belirli süre sonraki oransal hacim azalmasını ifade etmektedir (Ng ve Sulaiman 2018).

$$\text{köpük stabilitesi}(\%) = \frac{V_{\text{köpük}}}{V_0} 100 \quad (1)$$

Eşitlikte  $V_{\text{köpük}}$  30dak sonundaki köpük hacmini (mL) ve  $V_0$  ilk köpük hacmini (mL) ifade etmektedir. Köpük genişmesi köpükendirme boyunca sıvının hapsedebildiği havanın bir ölçüsüdür ve Eşitlik 2'de verildiği üzere köpüğün ilk ve son hacmi arasındaki farkın ilk hacme oranı ile ifade edilir (Sangamithra vd. 2016):

$$\text{Köpük genişmesi}(\%) = \frac{V_1 - V_0}{V_0} \quad (2)$$

Eşitlikte  $V_0$  köpük oluşturulmadan önceki hacmi (mL) ve  $V_1$  köpük oluşturulduktan sonraki hacmi (mL) ifade etmektedir. Köpük yoğunluğu ise çırpmanın niteliğini ifade etmekte olup çırpma sırasında sıvı gıda içine alınan hava hacmi arttıkça köpük yoğunluğu azalmaktadır. Köpük yoğunluğu Eşitlik 3'te verildiği şekilde belirli ağırlıktaki köpüğün köpük hacmine oranı olarak ifade edilir (Sangamithra vd. 2016):

$$\text{Köpük yoğunluğu}(g/cm^3) = \frac{\text{köpük } c}{\text{köpük } h_1} \quad (3)$$

Düşük köpük yoğunluğu köpük bünyesine daha fazla havanın alınabilmesine olanak vermekte ve sıklıkla karıştırmanın başarı ölçütü olarak kullanılmaktadır. Köpük stabilitesinin yüksek olması düşük köpük yoğunluğu ile sağlanmakta olup kurutmanın başarısını da arttırmaktadır (Dehghannya vd., 2018). Köpük drenaj hacmi ise yerçekimi etkisiyle köpükten ayrılan sıvı oranını ifade etmekte ve filtre üzerine belirli ağırlıkta yerleştirilen köpükten belirli süre sonunda ayrılan sıvı kısmın hacminin ölçülmesi ile belirlenmektedir (Pasban vd. 2015).

Köpük kurutma tekniğinde köpük ajanı ve stabilizörün cinsi ve konsantrasyonu elde edilecek kurutulmuş toz ürünün fizikokimyasal özelliklerine, mikrobiyel kalitesine ve kurutma süresine etki etmektedir. Literatürde konuyla ilgili dikkat çeken çalışmalar mevcuttur. Örneğin, Kadam vd. (2012a) köpük ajanlarının köpük kurutma ile elde edilen toz ananasın fizikokimyasal özellikleri ve mikrobiyel kalitesi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Farklı konsantrasyonlarda trikalsiyum fosfat (%0, 0.25, 0.50, 0.75 ve 1.0) ve yumurta albümini (%0, 0.50, 1.0, 1.5 ve 2.0) kullanarak 18.000rpm'de elde ettikleri köpüklerde stabilizatör olarak %0.25'lik karboksimetil selüloz kullanılmıştır. Farklı sıcaklıklardaki (65, 75 ve 85°C) kurutma işlemi sonucunda %1 trikalsiyum fosfat kullanılarak elde edilen köpüğün 65°C'de kurutulması ile oluşan toz ürünün fizikokimyasal özelliklerinin en iyi olduğu bulunurken maya ve bakteri gelişimi gözlenmemiştir.

Abbasi ve Azizpour (2016) köpük kurutma ile elde edilen vişne tozlarında kullanılan köpük ajanı ve stabilizatörün fizikokimyasal özellikler (çözünürlük, toplam antosiyanin içeriği, pH, esmerleşme indeksi, asitlik ve kuruma süresi) üzerine etkisini incelemişlerdir. Köpük oluşumu için yumurta beyazı (%1, 2 ve 3) ve stabilizatör olarak metil selüloz (%1, 1.5 ve 2) kullanılmıştır. 4 dakika çırpılarak oluşturulan köpükler 50, 65 ve 80°C'de kurutulmuştur. Kurutma sonucunda metil selüloz konsantrasyonu arttıkça toplam antosiyanin içeriği, asitlik, esmerleşme indeksi ve kuruma sürelerinde azalma gözlenirken çözünürlük ve pH'da artma gözlenmiş ve yumurta beyazı konsantrasyonun artmasıyla birlikte ise pH hariç tüm fizikokimyasal özelliklerde düşüşler gözlenmiştir. Chandrasekar vd. (2015) karışık sebze suyu tozu eldesinde farklı yumurta albümini konsantrasyonunun (%10, 20 ve 30) ve kurutma sıcaklığının (50, 60 ve 70°C) antimikrobiyel ve fitokimyasal özellikler üzerine

etkilerini incelemişlerdir. Albümin konsantrasyonun artmasıyla köpük stabilitesi ve genişlemesinin arttığı gözlenmiştir. %30 yumurta albümini kullanılarak 50°C'de kurutulan karışık sebze tozlarında  $\beta$ -karoten ve toplam fenolik miktarının daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Kadam vd. (2012b) farklı köpük ajanlarının kurutulmuş domates tozunun fizikokimyasal özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. Karboksimetil selüloz, süt ve yumurta akı kullanılarak elde edilen köpükler 65, 75 ve 85 °C'de kurutulmuş ve elde edilen domates tozlarının toplam şeker, askorbik asit, likopen miktarı ve toplam asitlikleri belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda 85°C'de karboksimetil selüloz kullanılarak elde edilen domates tozunun optimum sonucu verdiği ifade edilmiştir. Yine Kadam ve Balasubramanian (2011) domates suyundan domates tozu üretiminde köpük ajanı olarak farklı konsantrasyonlarda (%0, 5, 10, 15 ve 20) yumurta albümini kullanmış ve kurutma üç farklı sıcaklıkta (60, 65 ve 70°C) gerçekleştirilmiştir. Kuruma süresinin artan yumurta albümini konsantrasyonu ile düştüğü ve köpüklendirilmiş domates sularının kuruma sürelerinin 60 ve 70°C'lerde yapılan kurutmalar için sırasıyla 510 ve 450dak olduğu ifade edilmiştir.

### 3. Köpük Stabilitesi

Köpük oluşturmadaki başarının köpüğün kurutma süresi boyunca sönmeden stabil kalmasında da sürdürülmesi gerekmektedir. Aksi halde köpüğün sönmesi evaporasyon yüzey alanını düşürerek kuruma hızının düşmesine sebep olacaktır. Oluşturulan köpüğün stabilitesi kurutmanın başarısında ve son ürün kalitesinde önemli rol oynamaktadır. Köpük stabilitesi gıdanın özellikleri, stabilizör cinsi ve konsantrasyonu, köpüklendirme koşulları (çırpma süresi ve hızı), kremleşme, birleşme ve drenaj ile kurutma sıcaklığına bağlıdır.

Bu faktörler içinden farklı köpük stabilizörleri kullanılarak optimum stabil köpük oluşturma üzerinde sıklıkla çalışılan konulardandır. Pasban vd. (2015) beyaz mantar (*Agaricus bisporus*) kurutmada köpük stabilizasyonundaki optimum koşulları yanıt yüzey yöntemi ile belirlemişlerdir. Köpük eldesinde farklı oranlarda mantar püresi:su karışımına (1:0.5-1:2.5w/w) farklı konsantrasyonlarda tere tohumu gamı (%0.3-0.6) ekleyerek 15000 rpm'de farklı sürelerde (2-8 dak) çırpma işlemi uygulamışlardır. Farklı sıcaklıklarda (50, 65 ve 80°C) yapılan kurutma işlemi sonucunda efektif nem difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi hesaplanmıştır. Optimum köpük stabilitesi için gam konsantrasyonu %0.57, mantar püresi: su oranı 1:0.5 ve çırpma süresi 6.49dak olarak belirlenmiştir. Bu şartlarda köpük yoğunluğu 0.58g/cm<sup>3</sup>, drenaj hacmi ise 2.9mL olmuştur. 50, 65 ve 80°C'lerde yapılan kurutma sonunda efektif nem difüzyon katsayıları sırasıyla 4.765x10<sup>-9</sup>, 8.39x10<sup>-9</sup> ve 10.42x10<sup>-9</sup>m<sup>2</sup>/s, aktivasyon enerjisi ise 24.867kJ/mol olarak hesaplanmıştır.

Fernandes vd. (2013) domates pulunun köpük kurutulmasını inceleyerek çırpma süresi (0.3, 1.5, 4.5, 7.5 ve 8.3dak) ve albümin konsantrasyonunun (%0.3, 1.5, 4.5, 7.5 ve 8.3) köpük yoğunluğu ve köpük stabilitesi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Kurutma sonucunda köpük yoğunluğuna sadece çırpma süresi etki ederken (p<0.05) köpük stabilitesine hem çırpma süresi (p<0.01) hem de albümin konsantrasyonunun (p<0.01) etkili olduğu tespit edilmiştir. Düşük köpük yoğunluğu ve yüksek köpük stabilitesi dikkate alındığında optimum stabil köpük oluşumunun % 4.5 yumurta albümini içeren ve 4.5dak çırpılarak elde edilen domates pulpu ile sağlandığı tespit edilmiştir.

Raharitsıfa vd. (2006) köpük kurutmada elma suyu köpüklerinin stabilitesi ve reolojik özelliklerini incelemişlerdir. Köpük oluşturmak için protein

(%0.5, 1, 2 ve 3 yumurta albümini) ve polisakarit kaynaklı (%0.1, 0.2, 0.5, 1 ve 2 metil selüloz) köpük ajanları ve farklı çırpma süreleri (3, 5 ve 7dak) kullanmışlardır. Yumurta albümini köpük stabilitesinin metil selüloza göre daha düşük fakat köpük kapasitesinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Her iki ajan için köpük stabilitesi konsantrasyon artışıyla artmıştır. Çırpma süresindeki artış yumurta albümini köpük stabilitesini arttırmıştır. Farklı bir çalışmada ise Thuwapanichayanan vd. (2008) farklı sıcaklıklarda (60, 70 ve 80°C) kurutulmuş muz üretiminde köpük ajanı olarak yumurta albümini kullanmışlar ve farklı çırpma süresi (10, 20, 30 ve 40dak) ve köpük yoğunluğunun (0.3, 0.5 ve 0.5g/cm<sup>3</sup>) köpük stabilitesi ve kuruma oranı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda düşük yoğunluklu köpüklerin geniş gözenekli yapılarından dolayı kuruma oranı, efektif nem difüzyon katsayısı ve büzülme değerlerinin daha yüksek ve dolayısıyla daha stabil oldukları gözlemlenmiştir.

Chen vd. (2017) quillaja saponin (QS) kaplı nanodroplet stabilize edilen köpüklerin fonksiyonelliği ve stabilizasyonunu araştırmışlardır. QS kaplı nanodroplet stabilize edilen köpüklerde köpük stabilitesi ve köpük oluşumunun QS ile stabilize edilen köpüklere göre daha fazla olduğu saptanmıştır. Nanodroplet stabilize edilen köpüklerin yarılanma ömrünün QS ile stabilize edilen köpüklerden 4 kat daha fazla olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

#### 4. Köpük Kurutma Çalışmaları

Köpük kurutma tekniği esasen 1900'lü yıllarda süttten süttozu üretimi için geliştirilmiş olmakla beraber endüstriyel üretim potansiyeli taşımaması sebebiyle birçok sıvı gıdanın işlenerek dayanıklı hale getirilmesi çalışmalarına konu olmuştur. Literatürde köpüklenilerek kurutulmuş meyve ve sebzelerle ilgili çok sayıda çalışma yer almaktadır

(Dehghannya vd., 2019; Tavares vd., 2017; Varhan ve Koç, 2017; Sramek vd., 2016; Azizpour vd., 2014, Ravichandran vd., 2013). Bu çalışmalarda sıklıkla köpük oluşumunun, köpük ajanları ve stabilizörlerin kurutmadaki etkileri ve kurutulmuş ürün kalitesi incelenmektedir.

Köpük kurutmadaki başarının belirlenmesinde en etkin ve hemen tüm çalışmalarda kullanılan parametreler kuruma oranı ve hızı, efektif nem difüzyon katsayısı, aktivasyon enerjisi, kuruma süresi ve kurutulmuş ürünün kalite özellikleridir. Kapsamlı bir çalışmada Sangamithra vd. (2016) kavun tozu eldesinde farklı konsantrasyonlarda soya proteini izolatu (%5, 7.5 ve 10), karboksimetil selüloz (% 0, 0.5 ve 1) ve çırpma süresi (2, 4, ve 6 dak) kullanılarak elde edilen köpükleri farklı sıcaklıklarda (50, 60 ve 70°C) sıcak hava ile kurutmuşlardır. %8.71 soya proteini izolatu, %0.54 karboksimetil selüloz ve 5.7dak çırpmanın optimum köpük oluşumunu sağladığı ve bu köpüğün 70°C'de kurutulmasında en yüksek kuruma oranı sağlandığı sonucuna ulaşılmıştır. Köpükendirilerek kurutulan kavun pulplarının efektif nem difüzyon katsayılarının  $(4.13 \times 10^{-10} - 6.7 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s})$  köpürtülmeden direkt kurutulan kavun pulplarına  $(3.75 \times 10^{-10} - 5.33 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s})$  göre daha yüksek olduğu ve dolayısıyla kuruma süresinin daha kısa olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Gupta ve Alam (2014) üzüm konsantrasyonlarının farklı sıcaklıklardaki (55, 65 ve 75°C) sıcak hava ile kurutulmasında köpükendirilmenin renk ve kütle transferi kinetiklerine etkisini incelemiştir. 55, 65 ve 75°C'lerde kurutulan örneklerden köpükendirilmemiş olanların kuru bazda başlangıç nem içeriğini %150'den kurutma sonunda %14'e indirmek için gereken kuruma süreleri sırasıyla 510, 390 ve 270dak iken %6 yumurta albümini ve %0.3 karboksimetil selüloz ile köpükendirilen ve %162 başlangıç nemindeki örneklerde kurutma süreleri

sırasıyla 405, 330 ve 210dak olarak gerçekleşmiştir. Köpükendirilmemiş örneklerde kurutma sonrası L değerinde doğrusal bir düşüş gözlenmiş yani renkte koyulaşmanın arttığı belirtilmiştir. Ayrıca sıcaklık artışıyla birlikte köpükendirilmemiş örneklerdeki b değeri azalırken köpükendirilmiş örneklerin b değerinin sıcaklık arttıkça yükseldiği sonucuna ulaşılmıştır.

Bir başka çalışmada Rajkumar vd. (2007) köpükendirilerek kurutulmuş mango pulpunun farklı sıcaklıklarda (60, 65, 70 ve 75°C) kurutulmasında kuruma davranışını belirlemek için kesikli çalışan kabin kurutucuda köpük kurutma üzerinde çalışarak köpük ajanı konsantrasyonu, köpük yayma kalınlığı ve kurutma sıcaklığının kuruma süresi, efektif nem difüzyon katsayısı ve kuruma hızı sabitine etkilerini araştırmışlardır. Köpük ajanı olarak yumurta albümini (%5, 10 ve 15) kullanılırken köpük stabilitesini sağlamak için %0.5 metil selüloz kullanılmıştır. Köpükendirilerek farklı kalınlıklarda (1, 2 ve 3mm) yayılan mango pulplarının kuruma süresinin (35dak) köpükendirilmeden kurutulan mango pulpunun kuruma süresinden (75dak) daha kısa olduğu ve efektif nem difüzyon katsayısı  $(9.7 \times 10^{-9} \text{ ile } 5.3 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s})$  ile kuruma hızı sabitinin (k) köpükendirilmiş mango pulpunda daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Denemeler sonucunda %10 yumurta albümini ile %0.5 metil selüloz içeren 1mm kalınlığındaki köpüğün 60°C'de kurutulmasının optimum kurutma şartları olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmaların ışığında laboratuvar tipi kesiksiz çalışan 2.5kg/gün kapasiteli bir kurutma ünitesi geliştirilmiştir.

Diğer bir çalışmada Kandasamy vd. (2014) papaya pulpunun köpük kurutulmasında kurutma parametrelerini optimize etmeyi amaçlamışlardır. Farklı briksteki (7, 8, 9, 10, 11, 12 ve 13) pulplardan köpük oluşturmak için metil selüloz (%0.25, 0.5,

0.75 ve 1), gliserol monostearat (%1, 2, 3 ve 4) ve yumurta beyazı (%5, 10, 15 ve 20) kullanmışlar ve elde ettikleri köpükleri farklı kalınlıklarda (2, 4, 6, 8 ve 10 mm) yayarak farklı sıcaklıklarda (60, 65 ve 70°C) kesikli çalışan kabin kurutucuda kurutmuşlardır. İşlem sonucunda en stabil köpük oluşumu 9briks'li pulpta sırasıyla %0.75 etil selüloz, %3 gliserol monostearat ve %15 yumurta beyazında gözlemlenmiştir. Kurutma süresinin köpük kalınlığının artmasıyla yükseldiği ve kurutma sıcaklığının artmasıyla düştüğü tespit edilmiş ve optimum kurutma şartları 60°C, %3 gliserol monostearat ve 4mm köpük kalınlığı olarak belirlenmiştir.

Galdino vd. (2016) atemoya meyve pulpunun köpük kurutulmasında kuruma eğrilerini Henderson-Pabis, Page ve Midilli yarı teorik modelleri ile modellemişlerdir. Köpük oluşturmak için ticari köpük ajanları (%2 Emustab® ve %2 Super Liga Neutra®) kullanılmış ve 20dak çırpma işlemi uygulanmıştır. Çırpma sonucunda elde edilen köpükler farklı kalınlıklarda (0.5, 1 ve 1.5cm) yayılarak üç farklı sıcaklıkta (60, 70 ve 80°C) kurutulmuştur. Kullanılan modellerde Midilli modeli tüm koşullarda deneysel verilere en iyi uyumu göstermiştir. Kuruma hızının köpük kalınlığına bağlı olduğu ve köpük kalınlığı arttıkça kuruma hızının azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Salahi vd. (2015) da kavun (*Cucumis Melo*) tozu eldesinde köpük stabilitesini yanıt yüzey yöntemi kullanarak belirlemişlerdir. Köpük ajanı olarak yumurta beyazı (%1, 2 ve 3) ve stabilizör olarak ksantan gam (%0.05, 0.13 ve 0.2) kullanılmıştır. Elde edilen köpükler iki farklı kalınlıkta (3 ve 5mm) yayılarak üç farklı sıcaklıkta (40, 55 ve 70°C) kurutulmuştur. Kuruma sonucunda 40, 55 ve 70°C'lerde yapılan kurutma için efektif difüzyon katsayıları 3 ve 5 mm kalınlığındaki köpükler için sırasıyla  $3.283 \times 10^{-9}$ ,  $6.748 \times 10^{-9}$ ,  $9.483 \times 10^{-9}$  ve  $4.053 \times 10^{-9}$ ,  $1.064 \times 10^{-8}$ ,  $1.216 \times 10^{-8} \text{m}^2/\text{s}$  olarak hesaplanmıştır. Aktivasyon

enerjileri ise 3 ve 5mm kalınlığında yayılan köpükler için sırasıyla 30.714 ve 33.043kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Kurutma sıcaklığı ve köpük kalınlığındaki artışa bağlı olarak efektif difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisinin arttığı gözlenmiştir.

## 5. Kuruma Süresine Etkili Faktörler

Sıvı veya sıvılaştırılmış gıdaları köpükendirmenin temel amacı kurumanın gerçekleşeceği yüzey alanını olabildiğince arttırmaktır. Köpükendirilerek yüzey alanı arttırılan gıdalarda suyun difüzyonu daha kısa sürede gerçekleşmektedir. Ancak kuruma süresi köpük stabilitesi, köpük yayma kalınlığı, kurutma sistemi ve kurutma sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir.

Franco vd. (2016) yakon suyu tozu elde etmek için iki farklı brikste (8 ve 24) yakon suyu ve köpük ajanı olarak yumurta albümini kullanmış ve oluşan köpükler 0.5, 1 ve 1.5cm kalınlıklarda yayarak farklı sıcaklıklarda (50, 60 ve 70 °C) kurutulmuştur. Elde edilen yakon suyu tozlarının fizikokimyasal ve mikro yapısal özellikleri incelendiğinde 0.5cm kalınlığında ve 70°C'de kurutulan yakon tozlarında nem ve  $a_w$  değerlerinin ve kuruma sürelerinin en düşük olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Djaeni vd. (2015) karragenanın kuruma süresini ve kuruma sırasında oluşan kalite kayıplarını belirlemek için köpük kurutma tekniğini kullanmışlardır. Bu çalışmada köpük ajanı olarak kullanılan yumurta akı ve stabilizör olarak kullanılan metil selülozun farklı sıcaklıklarda (60, 80 ve 100°C) ve farklı köpük kalınlığında (2, 3, 4 ve 5mm) yapılan kurutmada kuruma verimine etkisi incelenmiştir. Kurutma sonucunda albüminin karragenanın yüzey alanını arttırarak nem difüzyonunu arttırdığı ve böylece kuruma süresini kısalttığı sonucuna ulaşılmıştır.

## 6. Köpükendirilmiş Gıdaların Diğer Kurutma Yöntemleri ile Kurutulması

Köpüklendirilmiş gıdadaki nemin uzaklaştırılması amacıyla genellikle konvektif sıcak hava tekniği kullanılmakla beraber farklı kurutma yöntemleri de mevcuttur. Sıcak hava ile kurutmaya göre daha düşük sıcaklıklarda yürütülen mikrodalga veya dondurarak köpük kurutma yaygın uygulanan yöntemlerdendir (Sukkhown vd., 2018; Nistor vd., 2017; Sangamithra vd. 2015; Lattore vd., 2012). Raharitsıfa ve Ratti (2010a, 2010b) elma suyunu köpüklendirilerek ve köpüklendirilmeden dondurarak kuruturken Seerangurayar vd. (2017) ise hurma (khalal, rutab ve tamr) meyvesinden dondurarak köpük kurutmada köpük oluşumunu ve farklı köpük ajanlarının (%40 ve 50 maltodekstrin ve arabik gam) etkilerini incelemiştir. %50 arabik gam kullanılarak elde edilen hurma tozlarında akışkanlığın en yüksek ve yapışkanlığın en düşük değerde olduğunu bulunmuştur. Bu çalışma ile dondurarak köpük kurutmaya yönteminin hurma tozlarının üretilmesinde yüksek potansiyele sahip olabileceği belirtilmiştir.

Bir başka çalışmada ise Zheng vd. (2011) frenk üzümü (*Ribes nigrum* L.) pulpunun mikrodalga destekli köpük kurutulmasında farklı mikrodalga gücü (140, 280, 420, 560 ve 700W), pulp miktarı (20, 35, 50, 65 ve 80g), kurutma süresi (6, 8, 10, 12 ve 14dak) ve köpük kalınlığının (1, 2, 3, 4 ve 5mm) kurutulmuş üzümün nem, C vitamini içeriği ve antosiyanin miktarına etkileri yanıt yüzey yöntemi ile analiz edilmiş ve optimum kurutma koşulları 65g pulpa 8dak çırpma işlemi uygulanılarak elde edilen köpüğün 4.46mm kalınlıkta ve 560W mikrodalga gücünde kurutulması olarak belirlenmiştir.

Yumurta albümini köpüğünün dondurarak köpük kurutulmasını matematik modelleyen Muthukumaran vd. (2008a) köpük stabilizörü olarak farklı konsantrasyonlarda karboksimetil selüloz (%0.25, 0.50, 0.75 ve 1), ksantan gam (%0.125, 0.25, 0.375 ve 1) ve propilen glikol aljinat (%0.25,

0.50, 0.75 ve 1) kullanmışlardır. 4000rpm'de 5dak çırpma işlemi uygulanılarak elde edilen köpükler dondurularak kurutulduğunda %0.125'lik ksantan gamın en uygun stabilizör olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Propilen glikol aljinat artan konsantrasyonda köpüklendirmede daha başarılı sonuçlar verirken karboksimetil selüloz filtreleri tamamen tıkeyip ölçümü engellediği için kullanılmaya uygun görülmemiştir. Muthukumaran vd. (2008b) diğer bir çalışmalarında yumurta albümini kurutulmasında kurutma süresini azaltan ve yüksek kalitede kurumuş yumurta albümini elde edilmesini sağlayan %0.125'lik ksantan gam kullanılarak gerçekleştirilen dondurarak kurutmada kuruma süresi ve difüzyon katsayısını belirlemek için basit modeller uygulamışlardır.

## 7. Köpüklendirilerek Kurutulmuş Gıdaların Özellikleri ve Raf Ömrü Çalışmaları

Kurutma sıcaklığı ve süresi kurutulmuş ürünün besinsel ve fizikokimyasal özelliklerini etkilemektedir. Sritongtae vd. (2017) köpük kurutma ile farklı sıcaklıklarda (60 ve 70°C) kurutulan çimlendirilmiş ve çimlendirilmemiş pirinç hidrolizatlarının fizikokimyasal özelliklerini ve antioksidan aktivitesini belirlemiştir. Pirinç hidrolizat köpüğü %1 karboksimetil selüloz eklenerek 2dak'lık çırpma süresi sonunda elde edilmiş ve 1cm kalınlığında yayılarak sıcak hava kurutucuda kurutulmuştur. Sırasıyla 60 ve 70° C'de kurutulan çimlendirilmiş pirinçlerde antioksidan aktiviteleri 12.5 ve 10.74µmol iken toplam fenolik madde içerikleri 4.14 ve 3.83mg iken bu değerler çimlendirilmemiş örneklerde sırayla 8.24, 7.93µmol ve 2.84, 2.63mg olarak bulunmuştur. Çalışma sonucunda kurutma sıcaklığının artmasıyla birlikte antioksidan aktivitesinin ve toplam fenolik madde içeriğinin azaldığını sonucuna ulaşılmıştır (p<0.05).



Branco vd. (2017) köpük oluşumu için iki farklı köpük ajanı kombinasyonu (%3.5 albümin+% 0.25 karboksimetil selüloz+%0.25 ksantan gam ve %7 albümin) uygulayarak gerçekleştirdikleri köpük kurutma ile elde ettikleri uvaia (*Hexachlamys edulis* (O. Berg)) pulpu tozunun kuruma özelliklerini ve kurumuş ürün kalitesini inceleyerek kuruma davranışını matematik modellemişlerdir. Her iki köpük ajanı kombinasyonu için de kuruma eğrileri Page modeli ile uyum göstermiştir. 60 ve 70°C’de gerçekleştirilen kurutmada sadece albümin içeren kombinasyonun kuruma süresinin sıcaklık artışından etkilenmediğini ancak albümin, karboksimetil selüloz ve ksantan gam kombinasyonunda kuruma süresinin sıcaklığa bağlı olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Kurutma işlemi sonucunda elde edilen iki toz ürün kıyaslandığında albümin, CMC ve ksantan gam içeren toz üründe sadece albümin içeren toz ürüne göre toplam fenolik içeriği ve antioksidan kapasitesinin daha yüksek olduğu ifade edilmiştir.

Lobo vd. (2017) mangonun köpük kurutulmasında köpük stabilizörü olarak soya lesitini ve karboksimetil selüloz kullanmış ve kurutma sıcaklığının (53-87°C) kurutulmuş ürünün toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasitesi üzerine etkilerini incelemiştir. Kuruma sonucunda toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasitesinin soya lesitini ve artan kurutma sıcaklığından olumsuz etkilendiğini ( $p<0.05$ ) ancak karboksimetil selülozün olumlu etki ( $p<0.05$ ) ettiğini tespit etmişlerdir.

Kurutulmuş ürünlerin besinsel içeriklerinin yüksek ve raf ömürlerinin uzun olması tüketici beklentisidir. Standart ve yüksek kaliteli kurutulmuş ürün eldesi kurutmanın etkin ve verimli gerçekleştirilmesine

## 8. Sonuçlar

Yüksek oranda su içermeleri sebebiyle sınırlı raf ömrüne sahip meyve ve sebzeler farklı muhafaza

ihtiyaç duymaktadır. Literatürde köpük kurutma ile elde edilen toz gıdaların raf ömürleri üzerine çalışmalar da yer almaktadır. Wilson vd. (2014) mango (*Mangifera indica*) küspesine köpük oluşturmak için %0, 3, 5, 7 ve 9 yumurta beyazı ilave ederek farklı sıcaklıklarda (65, 75 ve 85°C) kurutma uygulamışlardır. Elde edilen mango tozunu oda şartlarında saklayarak 0, 2, 4 ve 6 aylık periyotlarla fiziko-kimyasal özelliklerini incelemiştir. Yapılan analizler sonucunda 65°C’de kurutulan mango tozunun besinsel içeriğinin daha yüksek ve raf ömrünün daha uzun olduğunu bulmuşlardır. Kaushal vd. (2013) meyve barında kullanılacak yalancı iğde (*Hippophae salicifolia*) tozu üretiminde köpük ajanı olarak farklı konsantrasyonlardaki (%0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 ve 3) karboksimetil selüloz kullanmış, 55°C’de yapılan kurutma, köpüğün nem içeriği yaklaşık %12-14 olduğunda sonlandırılmıştır. Yağlı kağıda sarılarak polietilen torbalarda oda sıcaklığında (14.6-26.1°C) depolanan sülfatlanmış ve sülfatlanmamış meyve pulpundan hazırlanmış meyve barlarının askorbik asit ve toplam karotenoid içerikleri karşılaştırıldığında sülfatlanmış meyve pulpundan üretilen meyve barlarındaki kalite değişikliklerinin çok az olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Depolama koşulları meyve barlarının hafif higroskopik (0.46-0.65) olduğunu ve %46-65 bağıl nemde oda sıcaklığında depolanabileceğini göstermiştir. Kadam vd. (2011) mandalina pulpunu karboksimetil selüloz (%0.25, 0.5, 0.75 ve 1), süt (%3, 5, 7 ve 9) ve yumurta beyazı (% 0.5, 1, 1.5 ve 2) köpük ajanları ile köpükendirip kurutarak 2ay aralıklarla toplam 6 aylık depolamada askorbik asit ve toplam şeker içeriğinin kullanılan köpükendirme ajanına göre değişimini belirlemişler ve karboksimetil selülozün daha uygun bir ajan olduğunu saptamışlardır.

teknikleri ile dayanıklı hale getirilmektedir. Kurutma tekniği en yaygın kullanılan muhafaza yöntemlerindedir. Sıcak hava kurutma tekniği gıda

endüstrisinde yaygın kullanım alanına sahip olmakla beraber sıcak hava ile kurutulmuş gıdaların özelliklerinde olumsuz değişmelere yol açmaktadır. Bu amaçla gıda endüstrisi kurutma süresi ve sıcaklığının düşürülmesini olanaklı kılan yeni veya modifiye kurutma teknikleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Köpük kurutma tekniği sıvı gıdaların köpüklendirilerek kurutma yüzey alanının önemli ölçüde artırılmasını ve kuruma süresinin kısaltılmasını sağlayan bir teknik olarak son yıllarda artan ilgi görmüştür. Köpük kurutma ile elde edilen gıdaların kaliteleri dondurarak veya sprey kurutulmuş ürünlerin kalitesine yakındır ve ürünlerin daha düşük maliyetle elde edilebilmesine ve uzun raf ömürlü olmasına olanak sağlamaktadır.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını belirtmişlerdir.

#### Kaynaklar

ABBASI, E., AZIZPOUR, M. Evaluation of Physicochemical Properties of Foam Mat Dried Sour Cherry Powder. *LTW- Food Science and Technology*. 63:105-110, 2016.

AZIZPOUR, M., MOHEBBI, M., KHODAPARAST, M.H.H., VARIDI, M. Optimization of Foaming Parametres and Investigating the Effects of Drying Temperature on the Foam-mat Drying of Shrimp (*Penaeus indicus*). *Drying Technology*. 32:374-384, 2014.

BINKS, B.P., MUIJLWIJK, K., KOMAN, H., POORTINGA, A.T. Food-grade Pickering Stabilisation of Foams by in Situ Hydrophobisation of Calcium Carbonate Particles. *Food Hydrocolloids*. 63:585-592, 2017.

BRANCO, I.G., KIKUCHI, T.T., ARGANDONA, E.J.S., MORAES, I.C.F., HAMINIUK, W.I. Drying Kinetics and Quality of Uvaia (*Hexachlamys edulis* (O. Berg)) Powder Obtained by Foam-mat Drying. *International Journal of Food Science and Technology*. 51:1703-1710, 2017.

CHANDRASEKAR, V., GABRIELA, J.S., KANNAN, K., SANGAMITHRA, A. Effect of Foaming Agent Concentration and Drying Temperature on Pyhsiochemical and Antimicrobial Properties of Foam Mat Dried Powder. *Asian Journal of Dairy and Food Research*. 34(1):39-43, 2015.

CHEN, X.W., YANG, D.X., ZOU, Y., YANG X.Q. Stabilization and Functionalization of Aqueous Foams by Quillaja Saponincoated Nanodroplest. *Food Research International*, 1-9, 2017.

DEHGHANNYA, J., POURAHMAD, M., GHANBARZADEH, B., GHAFFARI, H. Influence of Foam Thickness on Production of Lime Juice Powder During Foam-mat Drying: Experimental and Numerical Investigation. *Powder Technology*. 328:470-484, 2018.

DEHGHANNYA, J., POURAHMAD, M., GHANBARZADEH, B., GHAFFARI, H. Heat and Mass Transfer Enhancement During Foam-mat Drying Process of Lime Juice: Impact of Convective Hot Air Temperature. *International Journal of Thermal Sciences*. 135:30-43, 2019.

DJAENI, M., PRASETYANINGRUM, A., SASONGKO, S.B., WIDAYAT, W., HIL, L.C. Application of Foam-mat Drying with Egg White for Carrageenan: Drying Rate and Product Quality Aspects. *Journal of Food Science and Technology*. 52(2):1170-1175, 2015.

FERNANDES, R.V.B., QUEIROZ, F., BOTREL, D.A., ROCHA V.V., LIMA, C.F., SOUZA, V.R. Foam Mat Drying of Tomato Pulp, *Biosci. J., Uberlandia*. 29(4):816-825, 2013.

FRANCO, T.S., PERUSSELLO, C.A., ELLENDERSEN, L.N., MASSON, M.L. Effect of Foam Mat Drying on Physicochemical and Microstructural Properties of Yacon Juice Powder. *LTW Food Science and Technology*. 66:503-513, 2016.

GALDINO, P.O., FIGUEIREDO, R.M.F., QUEIROZ, A.J.M. Drying Kinetics of Atemoya Pulp. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 20:672-677, 2016.

GUPTA, K., ALAM, M.S. Mass and Color Kinetics of Foamed and Non Foamed Grape Concentrate During Convective Drying Process: A Comparative Study. *Journal of Food Engineering and Technology*. 6(4):48-67, 2014.

KADAM, D.M., BALASUBRAMANIAN, S. Foam Mat Drying of Tomato Pulp. *Journal of Food Processing and Preservation*. 35:488-495, 2011.

KADAM, D.M., RAI, D.R., PATIL, R.T., WILSON, R.A., KAUR, S., KUMAR, R. Quality of Fresh and Stored Foam Mat Dried Mandarin Powder. *International Journal of Science and Technology*. 46:793-799, 2011.

KADAM, D.M., WILSON, R.A., KAUR, S., MANISHA, S. Influence of Foam Mat Drying on

- Quality of Tomato Powder. *International Journal of Food Properties*. 15(1):211-220, 2012a.
- KADAM, D.M., WILSON, R.A., KAUR, V., CHADHA, S., KAUSHIK, P., KAUR, S., PATIL, R.T., RAI, D.R. Physicochemical and Microbial Quality Evaluation of Foam-mat-dried Pineapple Powder. *International Journal of Food Science and Technology*. 47:1654-1659, 2012b.
- KANDASAMY, P., VARADHRAJU, N., KALEMULLAH, S., MALADHI, D. Optimization of Process Parametres for Foam-mat Drying of Papaya Pulp. *Journal of Food Science Technology*. 51:2526-2534, 2014.
- KAUSHAL, M., SHARMA, P.C., SHARMA, R. Formulation and Acceptability of Foam Mat Dried Seabuckthorn (*Hippophae salicifolia*) Leather. *Journal of Food Science and Technology*. 50(1):78-85, 2013.
- LATTORE, M.E., BONELLI, P.R., ROJAS, A.M., GERSCHENSON, L.N. Microwave Inactivation of Red Beet (*Beta vulgaris* L. var. *conditiva*) Peroxidase and Polyphenoloxidase and the Effect of Radiation on Vegetable Tissue Quality. *Journal of Food Engineering*. 109:676-684, 2012.
- LOBO, F.A., NASCIMENTO, M.A., DOMINGUES, J.R., FALCAO, D.Q., HERNANZ, D., HEREDIA, F.J., ARAUJO, K.G.L. Foam Mat Drying of Tommy Atkins Mango: Effects of Air Temperature and Concentrations of Soy Lecithin and Carboxymethylcellulose on Phenolic Composition, Mangiferin and Antioxidant Capacity. *Food Chemistry*. 221:258-266, 2017.
- MUTHUKUMARAN, A., RATTI, C., RAGHAVAN, V.G.S. Foam-Mat Freeze Drying of Egg White and Mathematical Modeling Part I Optimization of Egg White Foam Stability. *Drying Technology*. 26:508-512, 2008a.
- MUTHUKUMARAN, A., RATTI, C., RAGHAVAN, V.G.S. Foam-Mat Freeze Drying of Egg White-Mathematical Modeling Part II: Freeze Drying and Modeling. *Drying Technology*. 26:513-518, 2008b.
- NG, M.L., SULAIMAN, R. Development of Beetroot (*Beta vulgaris*) Powder Using Foam Mat Drying. *LWT-Food Science and Technology*. 88:80-86, 2018.
- NISTOR, O.V., SEREMET, L., ANDRONOIU, D.G., RUDI, L. Influence of Different Drying Methods on the Physicochemical Properties of Red Beetroot (*Beta vulgaris* L. var. *Cylindra*). *Food Chemistry*. 236:59-67, 2017.
- PASBAN, A., MOHEBB, M., POURAZARANG, H., VARIDI, M., ABBASI, A. Optimization of Foaming Condition and Drying Behavior of White Button Mushroom (*Agaricus Bisporus*). *Journal of Food Processing and Preservation*. 39:737-744, 2015.
- RAHARITSIF, N., RATTI, N. Foam-mat Freeze-drying of Apple Juice Part 2: Stability of Drying Storage. *Journal of Food Process Engineering*. 33:341-364, 2010b.
- RAHARITSIFA N., GENOVESE, D.B., RATTI, N. Characterization of Apple Juice Foams for Foam-mat Drying Prepared with Egg White Protein and Methylcellulose. *Journal of Food Science*. 71:142-151, 2006.
- RAHARITSIFA, N., RATTI, N. Foam-mat Freeze-drying of Apple Juice Part 1: Experimental Data and ANN Simulations. *Journal of Food Process Engineering*. 33:268-283, 2010a.
- RAJKUMAR, P., KAILAPPAN, P., VISWANATHAN, R., RAGHAVAN, G.S.V. Drying Characteristics of Foamed Alphonso Mango Pulp in a Continuous Type Foam Mat Dryer. *Journal of Food Engineering*. 79:1452-1459, 2017.
- RAVICHANDRAN, K., SAW, N.M.M.T., MOHDALY, A.A.A., GABR, A.M.M., KASTELL, A., RIEDEL, H., CAI, Z., KNORR, D., SMETANSKA, I. Impact of Processing of Red Beet on Betalain Content and Antioxidant Activity. *Food Research International*. 50:670-675, 2013.
- SALAH, M.R., MOHEBBI, M., TAGHIZADEH, M. Foam-mat Drying of Cantaloupe (*Cucumis Melo*): Optimization of Foaming Parameters and Investigating Drying Characteristics. *Journal of Food Processing and Preservation*. 39:1798-1808, 2015.
- SANGAMITHRA, A., VENKATACHALAM, S., SWAMY, G.J., KUPPUSAMY, K. Optimization of Foaming Properties Foam Mat Drying of Muskmelon Using Soy Protein. *Journal of Food Process Engineering*. 39:692-701, 2016.
- SANGAMITHRA, A., VENKATACHALAM, S., JOHN, S.G., KUPPUSWAMY, K. Foam Mat Drying of Food Materials: A Review. *Journal of Food Processing and Preservation*. 39:3165-3174, 2015.
- SEERANGURAYAR, T., MANICKAVASAGAN, A., AL-ISMAILI, AM., AL-MULLA, Y.A. Effect of Carrier Agents on Flowability and Microstructural Properties of Foam-mat Freeze Dried Date Powder. *Journal of Food Engineering*. 1-11, 2017.
- SRAMEK, M., WOERZ, B., HORN, H., WEISS, J., KOHLUS, R. Preparation of High-grade Powders from Honey-glucose Syrup Formulations by Vacuum Foam-drying Method. *Journal of Food Processing and Preservation*. 40:790-797, 2016.

SRITONGTAE, B., MORGAN, M.R.A., DUANGMA, K. Drying Kinetics, Physico-chemical Properties, Antioxidant Activity and Phenolic Composition of Foam-mat Dried Germinated Rice Bean (*Vigna umbellata*) hydrolysate. *International Journal of Food Science and Technology*. 52:1710-1721, 2017.

SUKKHOWN, P., JANGCHUD, K., LORJAROENPHON, Y., PIRAK, T. Flavored-functional Protein Hydrolysates from Enzymatic Hydrolysis of Dried Squid By-products: Effect of Drying Method. *Food Hydrocolloids*. 76:103-112, 2018.

TAVARES, I.M.C., NOGUEIRA, T.Y.K., MAURO, MA., GOMEZ-ALONSO, S., GOMES, E., DA-SILVA, R., HERMOSIN-GUTIERREZ, I. Dehydration of Jambolan [*Syzygium cumini* (L.)] Juice During Foam Mat Drying: Quantitative and Qualitative Changes of the Phenolic Compounds. *Food Research International*. 102:32-42, 2017.

THUWAPANICHAYANAN, R., PRACHAYAWARAKORN, S., SOPONRONNARIT, S. Drying Characteristics and Quality of Banana Foam Mat. *Journal of Food Engineering*. 86:573-583, 2008.

VARHAN, E., KOÇ, M. Köpük Kurutma Yöntemi ile Gıdaların Kurutulması. *Türk Tarım - Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(6):637-645, 2017.

WILSON, RA., KADAM, D.M., CHADH, S., GREWAL, M.K., SHARMA, M. Evaluation of Physical and Chemical Properties of Foam-mat Dried Mango (*Mangifera indica*) Powder During Storage. *Journal of Food Processing and Preservation*. 38:1866-1874, 2014.

ZHENG, X.Z., LIU, C.H., ZHOU, H. Optimization of Parameters for Microwave-Assisted Foam Mat Drying of Blackcurrant Pulp. *Drying Technology*, 29:230-238, 2011.