



Alınış tarihi (Received): 12.03.2020

Kabul tarihi (Accepted): 10.10.2020

Köpük Kurutma İşlemi ve Son Ürün Üzerine Kurutma Koşullarının Etkisi

Sedanur DAŞTAN^a, Hilal İŞLEROĞLU^{a,*}

^a Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Tokat
^{*}Sorumlu yazar: hilal.isleroglu@gop.edu.tr

ÖZET: Köpük kurutma, gıda ürününün köpürme ajanı ve/veya stabilizatörü eşliğinde köpük yapısına dönüştürüldükten sonra uygun bir yöntemle kurutulmuş toz haline getirilmesi olarak tanımlanmaktadır. Köpük kurutma işlemi her türlü sıvı gıda için uygun olmasının yanı sıra, kuruma süresini kısaltarak kalite kayıplarını azaltma, rekonstitüsyon özelliklerini iyileştirme ve ekonomik olma gibi birçok avantaja sahiptir. Kuruma süresinin kısaltılması ve kurutma verimliliğinin artırılması için ilk aşama olan köpük oluşturma işlemi önemli bir faktördür. Karıştırma hızı ve süresi, köpürme ajanı ve/veya stabilizatör cinsi ve konsantrasyonu köpük yapısının oluşumunu ve stabilitesini etkileyen önemli parametrelerdir. Başarılı bir köpük kurutma işlemi sonucunda rehidrasyon hızı ve çözünürlük özelliği yüksek toz gıdalar üretilmektedir. Bu derlemenin amacı, köpük kurutma işleminin teorisi, köpük oluşumu ve köpük oluşumunu etkileyen faktörler ve elde edilen köpüğün son ürün üzerine etkileri ile bu konuda yapılan çalışmalar hakkında bilgi sunmaktır.

Anahtar Kelimeler– Köpük kurutma, köpürme ajanı, stabilizatör, karıştırma, toz ürün

Foam-Mat Drying Process and Effect of Drying Conditions on Final Product

ABSTRACT: Foam-mat drying is defined as creating powder form of a food material by an appropriate drying method after generating foam using foaming agents or foaming stabilizers. As well as being suitable for every kind of liquid foods, foam-mat drying has many advantages such as preventing quality loss due to shortening of drying time, improving reconstitution properties and being economic. The foaming process, which is the first step of shortening of drying time and enhancing the drying efficiency, is an important factor. Mixing rate, mixing time type and concentration of the foaming agent and/or foaming stabilizer are important parameters affecting the foam formation and stability. As a result of a successful foam-mat drying process, food powders having high rehydration capacity and solubility can be produced. The aims of this review are to present information about the theory of foam-mat drying process, foam formation, the factors affecting foam formation, the effects of the foam on the final product and studies about this topic.

Keywords – Foam-mat drying, foaming agent, stabilizer, mixing, powder product

1. Giriş

Gıda muhafaza yöntemlerinden biri olan kurutma işlemi gıda güvenliği açısından oldukça önemli olmasının yanı sıra gıdanın sezon dışında kullanım ve depolama kolaylığını sağlamaktadır. Bu nedenle de kurutma işlemi gıda sanayisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Erbay ve Küçüköner, 2008). Kurutma işlemi ile gıdanın su aktivitesi düşürülerek bozulmasına sebep olan mikroorganizma faaliyetleri engellenmekte ve aynı zamanda gıdada kimyasal değişimlere sebep olan çoğu enzim işlevini yerine

getirememektedir. Böylece kurutulmuş gıdalar daha uzun süre depolanabilmektedir (Geankoplis, 2015). Çoğunlukla meyve ve sebze ürünlerinde tercih edilen kurutma işlemi ile gıdalar daha konsantre hale gelmekte ve taşıma işlemleri kolaylaşmaktadır (Erbay ve Küçüköner, 2008).

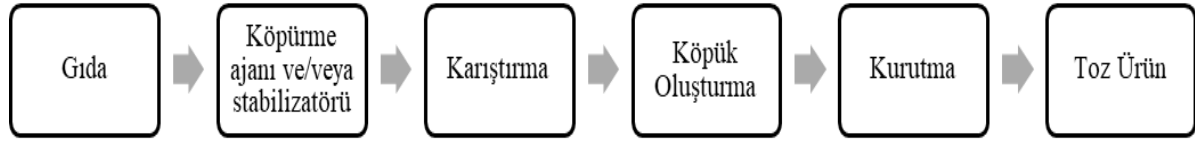
Gıdaların kurutulması için çoğunlukla doğal veya zorlanmış sıcak hava ile yapılan kurutma yöntemleri tercih edilmekle birlikte seçilen yöntem son ürünün kalite özellikleri üzerinde etkili olmaktadır. Sıcak hava ile gerçekleştirilen geleneksel kurutma yöntemleri gıdanın uzun süre sıcak hava etkisinde kalması nedeniyle ürünün kalitesinde olumsuz değişikliklere neden olabilmektedir (Çınar ve Eraşar, 2018). Vakum ve mikrodalga gibi kurutma yöntemlerinde gıdanın kurutulması yüksek kurutma sıcaklıklarında gerçekleşmektedir. Bu nedenle ürün içerisinde uçucu bileşen kaybı olmaktadır (Muthukumaran ve ark., 2008). Ayrıca bu şekilde yapılan kurutma sonucunda enerji tüketimi de artmaktadır. Oysa, kurutma işleminin kısa sürede ve daha az enerji kullanılarak gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bunlara ek olarak kurutulmuş son ürünün duyu ve fiziko-kimyasal özelliklerinde daha az kayba sebep olacak yöntemler tercih edilmelidir (Polatçı ve Taşova, 2018). Püskürtmeli kurutma ve dondurarak kurutma işlemleri toz ürün eldesi amacıyla sıklıkla kullanılan kurutma yöntemleri olmakla birlikte kullanılan yöntem son ürünün özelliklerini büyük ölçüde etkilemektedir. Yapılan bir çalışmada dondurarak kurutma ve püskürtmeli kurutma işlemleri karşılaştırıldığında püskürtmeli kurutma ile elde edilen tozun orijinal ürüne daha az benzerlik gösterdiği, elde edilen partiküllerin daha pürüzsüz ve küçük olduğu belirtilmiştir (Darniadi ve ark., 2018). Mikrodalga ve sıcak hava ile kurutma yöntemlerinin karşılaştırıldığı bir başka çalışmada ise mikrodalga destekli kurutma işlemi ile kurutma süresinde yaklaşık %64 oranında azalma olduğu ve mikrodalga destekli kurutma ile daha iyi renk ve rehidrasyon özelliklerine sahip toz ürünler elde edildiği bildirilmiştir (Maskan, 2001).

Köpük kurutma işlemi, sıvı ve yarı-sıvı gıdaların kurutma hızını artırmak amacıyla geliştirilmiş yeni bir tekniktir. Köpürme ajanları ve stabilizatörleri eşliğinde gerçekleştirilen köpük kurutma işlemi sıcak hava ile kurutma süresinin kısaltılması, kuruma hızının artırılması ve kurutulmuş gıda kalitesinin daha iyi korunması gibi avantajlar sağlamasından dolayı öne çıkmış olup köpük kurutma ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır (Falade ve ark., 2003; Zheng ve ark., 2011; Ibidapo ve Erukainure, 2012; Kadam ve ark., 2014; Asokapandian ve ark., 2016; Franco ve ark., 2016). Bu çalışmada, köpük kurutma işlemi ve aşamaları, köpük oluşum mekanizması, köpüğün son ürün üzerine etkisi, kullanılan köpürme ajanları ve stabilizatörlerin özellikleri hakkında bilgi verilerek bu konu ile ilgili yapılan araştırmalar derlenmiştir.

2. Köpük Kurutma İşlemi

Köpük kurutma işlemi, sıvı veya yarı-katı gıdaların, köpürme ve/veya stabilize edici ajanların varlığında köpük oluşturmak üzere karıştırıldıktan sonra elde edilen köpüğün ince bir tabaka şeklinde yayılarak kurutulmuş ürünün yapısına ve özelliklerine uygun olan kurutma yöntemi ile kurutulması işlemidir (Khamjae ve Rojanakorn, 2018). Köpük kurutma, Şekil 1'de gösterildiği gibi genel olarak üç aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar sırayla sıvı gıdanın sabit köpük haline getirilmesi, köpük forma dönüştürülen malzemenin kurutulması ve kurutulmuş ürünün toz haline getirilmesinden oluşmaktadır. Köpük kurutma yöntemiyle kurutulacak olan gıda püresi köpürme ajanları ve/veya köpürme stabilizatörleriyle birlikte karışım haline getirilerek karıştırma cihazları ile köpük oluşumu sağlanmakta ve elde edilen köpük farklı tip kurutucularda istenilen nem içeriğine kadar

kurutulmaktadır. Son ürün kazanarak, uygun partikül boyutunun sağlanabilmesi için öğütülmekte ve rehidrasyon oranı yüksek, akıcı bir ürün elde edilmektedir (Varhan ve Koç, 2017).



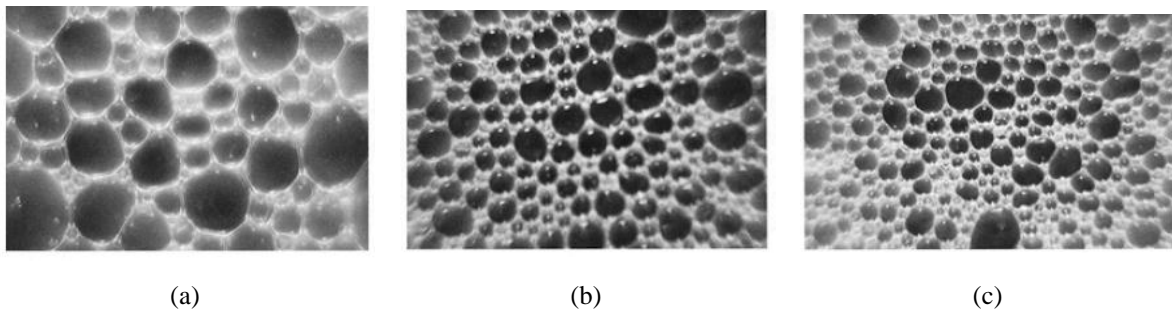
Şekil 1. Köpük kurutma işlemi aşamaları (Kadam ve ark., 2011; Varhan ve Koç, 2017)

Figure 1. Stages of foam-mat drying (Kadam ve ark.,2011; Varhan ve Koç, 2017)

Köpük kurutma ile toz haline getirilen ürünler mikrobiyal, kimyasal ve biyokimyasal reaksiyonlar açısından yüksek stabiliteye ve oldukça gözenekli bir yapıya sahiptirler. Köpük kurutma işleminin bir diğer avantajı da diğer yöntemlere göre her türlü sıvı gıda için uygunluk, yüksek kurutma hızı, kolay rekonstitüsyon ve ekonomik olmasıdır. Kurutma hızı, ısı transferinin köpüklü küttele bulunan büyük miktardaki gaz tarafından engellenmesine rağmen, sıvı-gaz ara yüzeyindeki artışa bağlı olarak daha hızlı gerçekleşmekte ve bu durum da kuruma süresini kısaltmaktadır (Koç ve Çabuk, 2019). Ayrıca bu yöntem ile vakum, mikrodalga gibi diğer konvansiyonel kurutma metotlarına göre kurutma için daha düşük sıcaklıklar uygulanmakta ve dolayısıyla gıda içerisindeki uçucu bileşenlerin kaybı daha az gerçekleşmektedir. Ek olarak, köpük kurutma, kurutulması zor malzemelerin homojen ve hızlı bir şekilde kurutulması gibi olanaklar sağlamaktadır. Bu nedenle köpük kurutma, özellikle küçük ölçekli kurutma endüstrisi için alternatif ve uygun bir teknik olmaktadır (Khamjae ve Rojanakorn, 2018).

3. Köpük Oluşturma

Karıştırma süresi, hızı ve şekli köpük oluşumunu önemli derecede etkileyen faktörler arasında yer almaktadır. Köpük kurutma ile ilgili yapılan çalışmalarda karıştırma süreleri genellikle minimum 5 dakika, maksimum 20 dakika olarak seçilmektedir. Kampf ve ark. (2003) tarafından yapılan bir çalışmada yumurta beyazı köpüklerinin reolojik özellikleri, köpük stabilitesi ve köpük gelişimi araştırılmış ve viskozimetre kullanarak köpük özellikleri değerlendirilmiştir. Bu çalışma sonunda farklı karıştırma süreleri sonunda elde edilen köpük yapısı Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Farklı karıştırma sürelerinden sonra yumurta albümin köpüklerinin yapısı: (a) 1 dakika, (b) 3 dakika ve (c) 5 dakika (Kampf ve ark., 2003)

Figure 2. Forms of the egg albumin foams after application of different whipping times: (a) 1 minute, (b) 3 minutes and (c) 5 minutes (Kampf et al., 2003)

Köpük oluşturmak için en yaygın kullanılan karıştırma yöntemleri çırpma, çalkalama ve kabarcık oluşturmadır. Uygulanan yöntemler köpüğün yapısı ve stabilitesi gibi birçok özelliği üzerinde farklılık gözlenmesine sebep olmaktadır. Farklı köpük oluşturma yöntemleri kullanıldığında, köpük oluşturma ve aynı zamanda stabilizasyon için gerekli olan ortamda mevcut protein miktarı değişebilmektedir. Örneğin, en fazla protein miktarına çırpma yönteminde, en az ise kabarcık oluşturma işleminde ihtiyaç duyulmaktadır (Hettiarachchy ve Ziegler, 1994).

3.1. Çırpma

Çırpma yöntemi, bir gaz fazı ile sıvı arasında ara yüzey oluşturmak üzere sıvıyı çalkalayan manuel veya otomatik karıştırıcılar, girdap karıştırıcılar ve homojenizatörler gibi farklı cihazlarla gerçekleştirilmektedir (Hardy ve Jideani, 2017). Bu yöntemde çırpma hareketinden dolayı hava bir sıvı içinde hapsolmakta ve sıvı içinde hapsolan hava miktarı karıştırma oranının artışıyla artmaktadır. Havanın sıvıya dahil edilmesi ile başlangıçta büyük boyutlu kabarcıklar elde edilmekle birlikte, karıştırma işlemi ilerledikçe kabarcık boyutu küçülmekte ve böylece homojen köpüklü bir yapı sağlanmaktadır (Brar, 2018).

3.2. Çalkalama

Bu yöntemde, kuvvetli bir çalkalama hareketi ile sıvı içerisinde köpük oluşumu sağlanmaktadır (Hardy ve Jideani, 2017). Çalkalama işlemi ile elde edilen köpüğün hacmi, çalkalamanın hızına ve süresine, kabın şekli ve büyüklüğüne, sıcaklığa, kullanılan köpürme ajanının tipine ve konsantrasyonuna bağlı olarak farklılık göstermektedir. Çalkalama işlemi, benzer koşullar altında daha az köpük üretmesinden dolayı çırpma ve kabarcık oluşturmaya kıyasla daha yavaş gerçekleşir ve bu yöntem gıda işleme endüstrisinde nadiren kullanılmaktadır (Brar, 2018).

3.3. Kabarcık Oluşturma

Bir diğer yöntem olan kabarcık oluşturma işleminde temel prensip, belirli miktardaki sıvıya gaz enjeksiyonu uygulanmasına dayanmaktadır. Bu yöntem, diğer yöntemlere göre daha düzgün yapıda köpük oluşumu sağlamaktadır (Hardy ve Jideani, 2017). Kabarcıkların büyüklüğü, havanın enjekte edildiği açıklığın boyutu ayarlanarak kontrol edilebilmektedir. Üretilen köpük hacmi ise sıvı ve köpük oluşturu maddenin miktarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu yöntemle, büyük miktarda hava enjekte edilmesi ile sıvı tamamen köpük forma dönüştürülebilmektedir. Bu teknik, köpük içindeki düzgün hava kabarcığı boyutundan dolayı temel köpük çalışmaları için sıklıkla tercih edilmektedir (Brar, 2018).

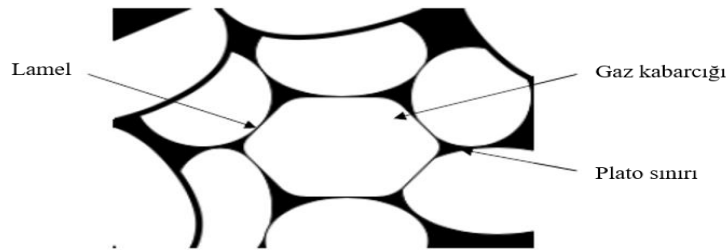
4. Köpük Stabilitesi

Köpük, dağılmış (genellikle hava) ve sürekli olmak üzere iki faza sahip bir kolloidal dispersiyondur. Köpük içerisinde bulunan dağılmış faz, sürekli faza oranla daha büyük hacme sahiptir. Kabarcık duvarına lamel adı verilmektedir ve dağılmış faz bir plato sınırı ile çevrilidir (Şekil 3). Köpük yapısı son derece kırılğan ve hassas bir özelliğe sahiptir. Bu yapının stabilitesi ise lamelin kalınlığına ve gücüne bağlı olarak değişmektedir. Köpük stabilitesi, gazı çevreleyen duvarların rijiditesini artırmak üzere filmlere katkı maddesi ilave edilerek sağlanabilmektedir. Genellikle stabilizatörler gibi yüzey aktif maddeler köpüğün stabilitesini arttırmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Çok kenarlı köpükler söz konusu olduğunda (yumurta beyazı köpüğü gibi) sistem, büyük miktarda kabarcıkların

varlığı ve yüzey aktiviteleri nedeniyle seyreltik köpüklerden daha dinamik ve stabil olmaktadır (Muthukumaran ve ark., 2008). Sıcak hava ile kurutma sırasında hızlı kurumunun sağlanabilmesi ve toz oluşumunun kolaylaştırılması için köpük yapısının stabil tutulması gerekmektedir. Köpük stabilitesi ise hava/su ara yüzeyinde yüksek viskozite ve düşük yüzey gerilimi oluşturularak sağlanabilmektedir. Kurutma aşamasında köpük yapısının bozulması durumunda kurutma süresi artmakta, ürün kalitesi düşmekte ve toz formunun oluşumu engellenmektedir (Hardy ve Jideani, 2017).

Köpükler, yüksek ara yüzey enerjileri nedeniyle termodinamik olarak kararsız yapıya sahiptir. Yerçekimi, köpük oluşumuna etki eden ve sıvının hava kabarcıkları arasındaki drenaja neden olan bir kuvvettir. Oluşan bu drenaj, stabilizatör eklenmesiyle veya yığın sıvının viskozitesinin artırılmasıyla azaltılabilmektedir. Ancak, drenajın azaltılmasıyla sistemde kararlı bir köpük oluşumu gözlenmektedir. Köpük filmlerin sıvı fazında bulunan stabilizatörlerin hidrofilik kısımları, film drenaj işlemini yavaşlatmasıyla köpük stabilitesini arttırırken köpüğün hava-su ara yüzeyine nüfuz eden hidrofobik kısımları dengesizleşmeye neden olabilmektedir (Schilling ve Zessner, 2011).

Stabil olmayan köpük oluşumu yüzey gerilimini düşüren geçici çözünenlerden kaynaklanmaktadır. Köpürmenin gerçekleşmesi için, kararlı bir gaz-sıvı dispersiyonu üretmek üzere polisakkarit ve protein yapıları bir bileşik ilave edilmektedir (Hardy ve Jideani, 2017). Bu bileşiklerden protein ve monogliserit yapıda olanlar köpük oluşumuna yardımcı olurken, polisakkaritler oluşan emülsiyonların stabilizasyonunu korumak için kullanılmaktadırlar (Fernandes ve ark., 2013). Köpük kurutma işleminde köpük yapı stabilitesinin korunması oldukça önemlidir.



Şekil 3. Köpük yapısı (Brar, 2018)
Figure 3. Structure of the foam (Brar, 2018)

4.1. Köpürme Ajanları ve Stabilizatörleri

Kararlı bir köpük yapının oluşumuna yardımcı olan katkı maddeleri, köpürme ajanları ve köpürme stabilizatörleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Köpürme ajanı temel olarak sıvı-sıvı veya gaz-sıvı arasındaki yüzey gerilimini azaltan ve sıvının köpürmesine yardımcı olan madde olarak tanımlanmaktadır. İyi bir köpürme ajanı, termal ve mekanik stabiliteye sahip, viskoelastik ve yapışkan bir filmin oluşumuna yardımcı olmaktadır. Proteinler genellikle iyi yüzey aktif ajanlar olarak hareket etmekte ve kinetik stabiliteyi sağlayarak, köpüklerdeki termodinamik dengesizliği en aza indirmektedir. Köpük kurutma işleminde kullanılan köpürme ajanları ise genellikle protein ve karbonhidrat bazlı olarak iki gruba ayrılmaktadır (Sangamithra ve ark., 2014). Köpürme stabilizatörleri, köpük yapısının korunması için kullanılan, çoğunlukla polisakkarit yapıda olan maddelerdir. Polisakkaritler lameller arasındaki yüzey gerilimini arttırarak köpük yapısının sabit kalmasını sağlamaktadırlar (Qadri ve ark., 2019).

4.1.1 Protein Bazlı Köpürme Ajanları

Yumurta beyazı

Yumurta beyazı (yumurta albümini), çok iyi köpürme özelliğine sahip olup yumurtalarda bulunan doğal bir proteindir. Çırpılmış yumurta beyazı hava/sıvı ara yüzeyinde hızla denatüre olmakta ve stabilize edici bir film oluşturmak üzere birbirleriyle etkileşime girmektedir. Bu nedenle, yumurta beyazı için gerekli olan çırpma süresi diğer köpürme ajanlarına kıyasla daha kısa sürede gerçekleşmektedir (Lomakina ve Mikova, 2006; Brar, 2018). Ibidapo ve Erukainure (2012) yumurta beyazı kullanarak köpük kurutma yöntemi ile papaya nektarı tozu üretmişlerdir. Araştırmacılar, yumurta albümini konsantrasyon seviyesinin ve çırpma süresinin köpük yoğunluğu, stabilitesi ve son ürünün özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada köpük oluşumu için yumurta beyazı ağırlıkça %10, %15 ve %20 oranlarında kullanılmıştır. Farklı sürelerde (3, 6, 9, 12 ve 15 dk.) çırpılarak oluşturulan köpükler 60°C'de kurutulmuştur. Karıştırma işlemi sonucunda en uzun çırpma süresinde (15 dk.) en düşük köpük yoğunluğu elde edilirken, en kısa çırpma süresinde (3 dk.) en yüksek köpük yoğunluğu elde edilmiştir. Araştırmacılar bu durumu çırpma işlemi sırasında havanın sıvı içerisine girmesi ve sıvı tarafından kabarcıklar içerisinde kapsüllenmesinden dolayı çırpma süresinin artmasıyla köpük yoğunluğunun azalacağı şeklinde açıklamışlardır. Kadam ve ark. (2014) ise farklı konsantrasyonlarda (ağırlıkça %0, 3, 5, 7 ve 9) yumurta beyazı kullanarak mango pulpundan köpük kurutma ile toz ürün elde etmişlerdir. Yapılan bu çalışmada yumurta beyazı konsantrasyonunun artması ile absorpsiyon indeksinin azaldığı sonucuna varılmıştır. Başka bir çalışmada Kadam ve Balasubramanian (2011) domates tozu elde etmek amacıyla köpük oluşumu için farklı oranlarda yumurta beyazı (ağırlıkça %0, 5, 10, 15 ve 20) kullanmışlar ve tepsi kurutucuda farklı sıcaklıklarda kurutma işlemini gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, elde edilen veriler sonucunda eklenen köpürme ajanı miktarının artmasıyla kurutma süresinin kısaldığını ve rengin daha iyi korunduğunu bildirmişlerdir.

Jelatin

Jelatin, jelleşme sırasında su fazının viskozitesini artırarak su-hava ara yüzey gerilimini düşürmekte ve dolayısıyla uygun bir köpük yapıcı özellik göstermektedir. Su-hava ara yüzeyinde adsorpsiyon oluşması için, moleküllerin hidrofobik bölgelerinin protein boyunca uzanmış olmasının köpük oluşumunu ve stabilizasyonu kolaylaştırdığı bildirilmektedir (Erge ve Zorba, 2018). Ng ve Sulaimen (2017) yumurta beyazı ve balık jelatini kullanarak pancar tozu elde edip ürünün fiziko-kimyasal özellikleri ve köpük kurutma işleminin pancar tozunun rehidrasyon özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Sonuçta, köpük kurutma işlemi ile higroskopik özellikte pancar tozu elde edilmiştir. Genellikle, orijinal köpük hacminin 3 katına kadar genişleme özelliğinden dolayı balık jelatini kullanılarak elde edilen köpüklerin daha iyi köpük genişlemesi ve köpük yoğunluğuna sahip olduğu gözlenmiştir. Ayrıca bu köpüklerin yüksek su aktivitesi değerlerine sahip olduğu araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Ng ve Sulaimen, 2017).

Soya proteini

Proteinlerin hava kabarcığı yüzeyine adsorbe olması ile kısmi denatüre olmuş proteinler bir tabaka oluşturmakta ve hava kabarcıklarını enkapsüle ederek kabarcıkların bir araya gelmesini önlemekte ve dolayısıyla köpük yapısını korumaktadırlar. Soya proteininin %90'ı proteinden oluşmakta ve bu yüksek protein içeriğinden dolayı birçok alanda köpürme ajanı olarak kullanılmaktadır (Yavuz ve Özçelik, 2016). Sankat ve Castaigne (2004) olgun muzlara köpük kurutma işlemi uygulayarak elde ettikleri köpüğün kurutma

özelliklerini incelemişlerdir. Köpürme ajanı olarak ağırlıkça %10 oranında soya proteini kullanmışlar ve ardından kurutma işlemini kabin kurutucuda 45 ile 90°C arasında gerçekleştirmişlerdir. İlave edilen soya proteininin, 12 dakika çırpma işleminden sonra sıcaklığa dayanıklı ince, sert ve düşük yoğunluklu köpük oluşumunu sağladığı belirlenmiştir. Bir diğer çalışmada ise, Asokapandian ve ark. (2016) kavun tozu eldesinde köpük oluşumu için farklı oranlarda soya protein izolatu (ağırlıkça %5, 7.5 ve 10) ve farklı çırpma süreleri (2, 4 ve 6 dk.) kullanarak elde ettikleri köpükleri 50, 60 ve 70°C'de sıcak havada kurutma işlemi ile kurutmuşlardır. Sonuç olarak, köpürme ajanının protein doğasından dolayı soya proteini konsantrasyonunun artmasıyla köpük hacminde artış elde edilmiştir.

Peynir altı suyu proteini

Yan ürün olan peynir altı suyu proteinleri, minör ve majör proteinlerden oluşmaktadır. Majör peynir altı suyu (PAS) proteinleri; β -laktoglobülin, α -laktalbümin, serum albümin, immünglobülinler ve glikomakropeptidlerdir. Minör PAS proteinleri ise, laktoperoksidaz, laktoferrin, mikroglobülin, lizozim, insülin-benzeri büyüme faktörü, γ - globülinlerden meydana gelmektedir (Güzeler ve ark., 2017). PAS proteinlerinin teknolojik özellikleri protein-su, protein-protein, protein-yağ ve protein-gaz fazı etkileşimlerine bağlı olarak açıklanabilmektedir. PAS proteinleri asit stabilitesi özelliği sayesinde yapı ve nem kontrolünü sağlamaktadır. Bu nedenle köpük oluşturma ve emülsifikasyon işlemlerinde kullanılmaktadır (Karagözlü ve Bayarer, 2004). Sramek ve ark. (2015) bal ve glukoz şurubu konsantrasyonunu kurutmak üzere köpük oluşumu için 1.5 gram PAS protein izolatu kullanmışlardır. Araştırmacılar bal ve glukoz şurubu karışımının köpük kurutma işlemi ile daha hızlı bir şekilde kurutularak toz formda elde edilebildiğini belirtmişlerdir.

4.1.2. Karbonhidrat Bazlı Ajanlar ve Stabilizatörler

Ksantan gam

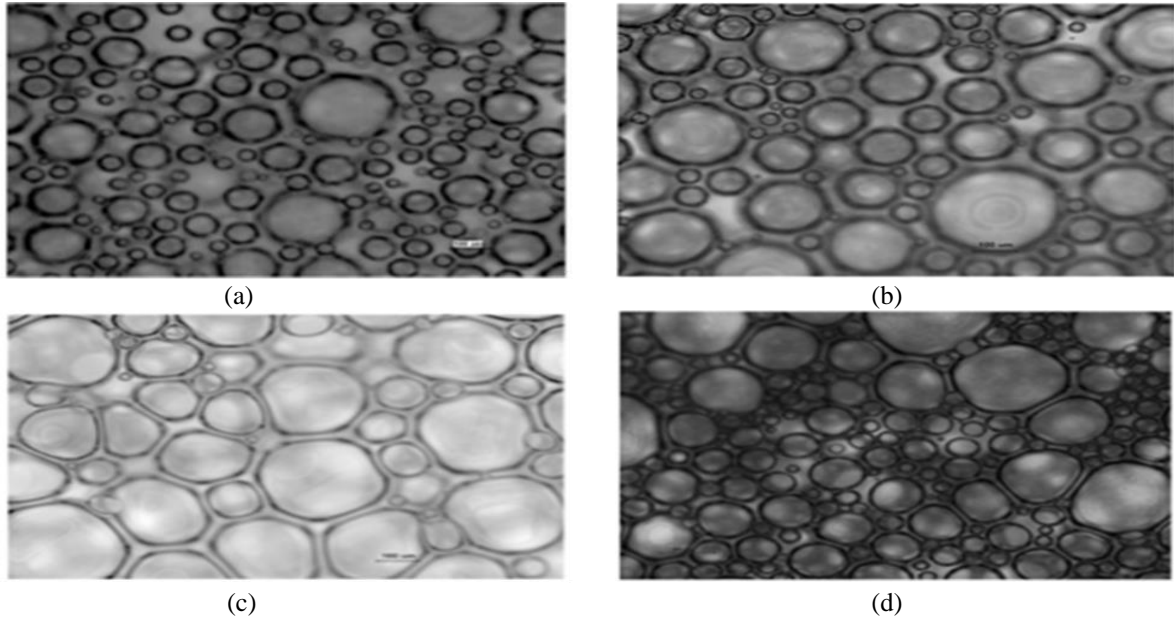
Ksantan gam, gıda katkı maddesi olarak kullanılan bir polisakkarit olup şekerlerden fermantasyon yolu ile elde edilmektedir. Ksantan gam polielektrolit özelliğe sahip olmasından dolayı suda iyi çözünmektedir. Gıda endüstrisinde ksantan gam, sıvının viskozitesini artırmak için etkili bir stabilizatör olarak kullanılmaktadır (Brar, 2018). Yapılan bir çalışmada, karides ksantan gam kullanılarak köpük kurutma işlemi ile kurutulmuş ve köpük özellikleri belirlenmiştir. Araştırmacılar, minimum köpük yoğunluğu ve drenaj hacminin ksantan gam konsantrasyonunun %0.19, su:karides oranı ağırlıkça 4.5:1 ve karıştırma süresi 5.89 dakika olduğunda elde edildiğini ve kurutma sıcaklığına bağlı olarak kurutma hızının arttığı, kurutma süresinin ise kısaldığını bildirmişlerdir (Azizpour ve ark., 2014).

Karboksimetil selüloz

Selülozun en önemli türevlerinden biri olan karboksimetil selüloz (CMC) bir polisakkarit olup gıda sanayisinde köpük oluşumunu teşvik etmesinden dolayı sıklıkla kullanılmaktadır (Ayten ve Arslan, 2016). Kaushal ve ark. (2011) köpük kurutma işlemi ile iğde tozu elde etmek üzere köpürme ajanı olarak farklı konsantrasyonlarda CMC kullanmışlardır. CMC eklenmeyen örneklerde köpük oluşmazken, CMC ilavesi ile pulpun köpüğe dönüştüğü ve toplam hacimde belirgin bir artış olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, CMC olmadan veya %2'nin altında CMC kullanılarak kurutulan örneklerin kuruma süresinin, yüksek CMC konsantrasyonları kullanılarak kurutulanlara göre daha uzun olduğu gözlenmiştir. Araştırmacılar, köpürme ile yüzey alanının artması ve buna bağlı olarak da nem

transferinin hızlandığını bildirmişlerdir. Bir diğer çalışmada ise Kadam ve ark. (2011) mandalina pulunu köpük kurutma yöntemi ile kurutmak üzere köpürme ajanı olarak CMC'nin yanı sıra farklı oranlarda süt ve yumurta beyazı da kullanarak elde ettikleri köpükleri kurutmuşlardır. Araştırmacılar ajan olarak CMC kullanıldığında elde edilen mandalina tozlarındaki askorbik asit içeriğinin diğer ajanlar kullanılarak elde edilenlere oranla daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Köpüğün başlangıç stabilitesi, yapıdaki herhangi bir bozulmanın tüm köpük kurutma işleminin başarısız olmasına neden olacağından oldukça önemlidir. Köpük yapının stabilitesi ise çeşitli köpürme stabilizatörleri ile sağlanmaktadır (Qadri ve ark., 2019). Raharitsifa ve ark. (2006) elma suyu köpüklerinin köpük stabilitesi ve reolojik özelliklerini incelemişlerdir. Köpürme ajanı olarak ağırlıkça %0.5–3 oranında yumurta beyazı ve köpük stabilitesi için ağırlıkça %0.1–2 oranlarında metil selüloz kullanmışlardır. Yapılan bu çalışmada, kullanılan köpürme ajanı ve köpürme stabilizatörünün köpük boyutu ve dağılımına etkisi Şekil 4'te gösterilmiş olup, metil selüloz ve yumurta beyazı konsantrasyonları arttıkça köpük stabilitesinin arttığı bildirilmiştir (Raharitsifa ve ark., 2006).



Şekil 4. Farklı metilselüloz ve yumurta beyazı konsantrasyonlarında hazırlanan köpüklerin kabarcık dağılımları (a) %2 metilselüloz (b) %1 metilselüloz (c) %0.2 metilselüloz (d) %2 yumurta beyazı (Raharitsifa ve ark., 2006)

Figure 4. The air volume fraction of the foams prepared using different concentrations of methylcellulose and egg white (a) 2% methylcellulose, (b) 1% methylcellulose, (c) 0.2% methylcellulose (d) 2% egg white (Raharitsifa et al., 2006)

Bag ve Srivastav (2011) ise bael meyvesinin posasından, gliserol monostearat (köpürme ajanı) ve metil selüloz (stabilizatör) kullanarak farklı sürelerde karıştırma işlemi ile elde ettikleri köpüğün genleşme ve stabilitesini belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlar minimum köpük yoğunluğu (maksimum köpük hacmi) için optimum koşulların, gliserol monostearat konsantrasyonunun ~%3, metil selüloz konsantrasyonunun ~%0.3, meyve pulp konsantrasyonunun ~13°Bx ve karıştırma süresinin 2 dakika olduğunu göstermiştir. Abbasi ve Azizpour (2016) ise yumurta beyazı ve metil selülozun vişne köpüğünün yoğunluğu ve drenaj hacmi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Metil selüloz konsantrasyonunun artmasıyla drenaj hacmi, köpük yoğunluğu, toplam antosiyanin içeriği, esmerleşme indeksi ve kuruma süresi

azalırken, örneklerin çözünürlüğü ve pH değerinin artan bir eğilime sahip olduğu gözlenmiştir. Metil selüloz yüzey gerilimini azalttığı için, havanın köpük yapısına girişi kolaylaşmakta ve bu da köpük yoğunluğun azalmasına neden olmaktadır. Çizelge 1’de farklı gıdalar için kullanılan köpürme ajanları, stabilizatörleri ve kurutma koşulları ile ilgili yapılan diğer çalışmalar listelenmiştir. Yapılan bu çalışmalarda çeşitli meyve ve sebzeler kullanılmıştır. Köpük oluşturmak üzere genellikle farklı köpürme ajanı ve/veya stabilizatör konsantrasyonları ve farklı karıştırma süresi olmak üzere iki parametre seçilmiştir.

Çizelge 1. Farklı gıdalar için kullanılan köpürme ajanları, stabilizatörleri ve kurutma koşulları
Table 1. Foaming agents, foaming stabilizers and drying conditions used for different kind of foods

Ürün	Köpürme Ajanı ve/veya Stabilizatörü	Köpük Oluşturma Parametreleri	Kurutma Yöntemi ve Koşulları	Kurutma İşleminin Ürün Üzerine Etkisi
Çarkıfelek meyvesi (Khamjae ve Rojanakorn, 2018)	Metil selüloz	Farklı metil selüloz konsantrasyonları (%0.75- 3.0) ve karıştırma süreleri (0-20 dk.)	Sıcak havada kurutma (60-80°C, 0.5 m/s hava hızı)	70°C’de 90 dakika kurutma sonucunda en yüksek antioksidan aktiviteye sahip toz ürün
Börülce (Falade ve ark., 2003)	Gliserol monostearat (GMS), Yumurta beyazı (EG)	Farklı GMS ve EG konsantrasyonları (%2.5-15) ve karıştırma süreleri (3-21 dk.)	Sıcak havada kurutma (60°C, 48 dk.)	Çok küçük partikül boyutuna sahip, rekonstitüsyon özellikleri iyi toz ürün
Mango (Kadam ve ark., 2010)	Süt	Farklı süt konsantrasyonları (%0-25), 3 dakika karıştırma	Sıcak havada kurutma (65- 85°C)	65°C kurutma sonucunda (%10 süt) daha yüksek askorbik asit, toplam karoten ve mineral içeriğine sahip, raf ömrü uzatılmış toz ürün
Muz (Falade ve Okocha, 2012)	Gliserol monostearat (GMS)	Farklı GMS konsantrasyonları (%0.005-0.02), 2 dakika karıştırma	Sıcak havada kurutma (60-80°C)	60°C kurutma sonucunda taze muz püresi ile benzer fiziksel ve kimyasal özellikler gösteren rekonstitüye toz ürün
Domates suyu (Kadam ve ark., 2012)	Karboksimetil selüloz (CMC), Yumurta beyazı (EG), Süt	Farklı CMC (%0.00-1.00), EG (%0.0- 2.0) ve süt (%0- 9) konsantrasyonları ve karıştırma süreleri (3-5 dk.)	Sıcak havada kurutma (65-85°C)	Taze domates suyu ile benzer toplam şeker, askorbik asit ve likopen içeriği, 85°C ve CMC kullanıldığında endüstriyel uygulamalara uygunluk
Patates (Chakraborty ve ark., 2014)	Gliserol monostearat (GMS)	Farklı GMS konsantrasyonları (%1-3) ve karıştırma süreleri (5-15 dk.)	Sıcak havada kurutma (50-60°C)	60°C, 135 dakika ve %2 GMS konsantrasyonunda optimum nem içeriği, rekonstitüsyon katsayısı, esmerleşme indeksi ve jelatinizasyon yüzdesi
Hurma (Seerangurayar ve ark., 2018)	Ksantan gam, Guar gam	Farklı ksantan gam ve guar gam konsantrasyonları (%0.5-2), 5 dakika karıştırma	Dondurarak kurutma, taşıyıcı ajan olarak maltodekstrin ve gam arabik	%2 stabilizatör konsantrasyonunda kurutma süresinde %40 kısalma

(-40°C, 72 saat)

Tatlı patates (Falade ve Onyeoziri, 2012)	Gliserol monostearat	Farklı GMS konsantrasyonları (%0.005–0.02) ve karıştırma süreleri (3-18 dk.)	Sıcak havada kurutma (70°C)	Daha yüksek L^* , ΔC , ΔE , Hue açısı ile daha düşük a^* ve b^* değerlerine sahip un örnekleri
Yacon meyvesi (Franco ve ark., 2016)	Yumurta beyazı	Yumurta beyazı konsantrasyonu (%20), 20 dakika karıştırma	Sıcak havada (50-70°C) farklı köpük kalınlıklarında (0.5-1.5 cm) kurutma	Yüksek kurutma sıcaklığı ve ince kalınlıklarda daha düşük nem içeriği, su aktivitesi ve higroskopikliğe sahip toz ürün
Guava meyvesi (Qadri ve Srivastava, 2015)	Yumurta beyazı	Yumurta beyazı konsantrasyonu (%8), 10 dakika karıştırma	Mikrodalgada (480-800 W, 40-50°C hava giriş sıcaklığı) farklı köpük kalınlıklarında (3-7 mm) kurutma	Artan mikrodalga gücü ve azalan köpük kalınlıklarında kuruma süresinde kısalma, 5 mm kalınlık-800 W-50°C kurutma sonucu fiziksel ve kimyasal özellikler bakımından en kaliteli toz ürün
Domates pulpu (Qadri ve Srivastava, 2014)	Yumurta beyazı	Yumurta beyazı konsantrasyonu (%10), 5 dakika karıştırma	Mikrodalga destekli kurutma (480-800 W, 45°C hava giriş sıcaklığı)	Mikrodalga desteği ile 15-16 kat daha hızlı kurutma, sıcak havada kurutulan örneklerle benzer renk, titrasyon asitliği, pH, askorbik asit içeriği

5. Köpük Özelliklerinin Son Ürüne Etkisi

Köpük yapısı, ürünün yüzey alanını artırarak kuruma süresini azaltmakta ve böylece hızlı gerçekleşen kurutma işlemi son ürünün birçok fiziksel ve kimyasal özelliğini etkilemektedir.

5.1. Nem İçeriği ve Su Aktivitesi

Yapılan çalışmalarda köpük kurutma işlemi ile elde edilen toz ürünlerin nem içeriğinin diğer kurutma tekniklerine göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Jakubczyk ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada, gözenekli yapıya sahip köpüğün dehidrasyon işlemini kolaylaştırmasından dolayı köpük kurutma işlemi ile elde ettikleri elma tozunun diğer kurutma tekniklerine göre daha düşük nem içeriği ve su aktivite değerleri gösterdiğini belirlemişlerdir. Ayrıca karıştırma ve kurutma sırasında köpürme ajanı olarak kullanılan yumurta beyazında gerçekleşen protein denatürasyonu nedeniyle de son ürünün su aktivitesi değerinin azaldığı bildirilmiştir (Shaari ve ark., 2017).

5.2. Renk

Kurutulmuş ürünlerdeki en önemli kalite parametrelerinden biri olan renk, tüketici beğenisi ve ürün fiyatı üzerinde büyük etkiye sahiptir. Son ürünün rengi hammadde çeşidi, olgunluğunun yanı sıra kurutma işlemi gibi birçok faktörden etkilenmektedir (Viuda-

Martos ve ark., 2012). Özçelik ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada, köpürme işleminin ürünün açıklık (L^*) ve kırmızılık (a^*) parametrelerini önemli ölçüde artırdığını, sarılık (b^*) değerini ise azalttığını belirlemişlerdir. Araştırmacılar bu durumu, karıştırma işlemi sırasında köpük yapısında hapsolmuş hava kabarcıklarının daha parlak olması ve L^* değerini artırması ile açıklamışlardır.

5.3. Çözünürlük

Çözünürlük, toz ürünün suyla homojen olarak karıştırılma yeteneğinin, yani sıvı içinde çözülmüş halde bulunan parçacıklardan oluşan karışımın stabilitesinin önemli bir göstergesidir (Franco ve ark., 2016). Shaari ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada köpük oluşumunun artması ve köpük yapının kurutma sırasında bozulmaması ile düşük nem içeriğine sahip ve akabilir özellikte toz ürün üretiminin sağlanabileceğini açıklamışlardır. Düşük nem ve yüksek akabilirliğe sahip tozların yüzey alanının fazla olması sayesinde su tutma özellikleri güçlü, yani çözünürlük özelliği yüksek toz ürün elde edilebileceğini göstermiştir.

5.4. Su Absorpsiyon İndeksi

Su absorpsiyon indeksi temel olarak kuru gıdaların suyu tutma kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır ve tam olarak hidrasyon kapasitesi ile ilişkili bir parametredir. Yüksek su absorpsiyon indeksi, ürünün içinde nemi tutmaya yardımcı olmakta, taşıma özelliklerini iyileştirmekte ve depolama sırasında dehidrasyonu önlemektedir (Oliveira ve ark., 2009). Dehghannya ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada köpük kurutma işleminde kullanılan köpürme ajanlarında bulunan serbest hidroksil gruplarının ürünün su tutma kabiliyetini artırdığını belirtmişlerdir.

5.5. Rehidrasyon Hızı

Kurutulmuş ürünlerin rehidrasyon hızı bir kalite kriteri olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Ürünün rehidrasyon özelliği süreklilik, teknolojik işlevsellik ve duyuşal özellikler gibi farklı birçok değeri etkilemektedir (Erbay ve ark., 2009). Kandasamy ve ark. (2019) köpürme ajanlarının ortamdaki su molekülleri ile birleştikleri için elde edilen toz ürünün, yapısındaki serbest hidroksil grupları sayesinde diğer yöntemlerle kurutulmuş tozlara göre daha iyi rehidrasyon kapasitesine sahip olduğunu açıklamışlardır.

5.6. Higroskopik

Higroskopik, bir toz gıdanın denge nem içeriğinden daha yüksek bağıl neme sahip bir ortamdan suyu tutma kabiliyeti olarak açıklanmaktadır. Toz ürünlerin higroskopik davranışı özellikle ambalajlama ve depolama koşullarının belirlenmesinde önemli bir parametredir (Oliveira ve ark., 2014). Shaari ve ark. (2017) köpürme ajanlarının yapısındaki polar konformasyonun, toz ürünün ortam havası ile temas ettiğinde su moleküllerini çekme kapasitesini artırdığını ve dolayısıyla köpük kurutma işlemi ile elde edilen tozların daha yüksek higroskopisite gösterdiğini belirtmişlerdir.

6. Sonuç

Su aktivitesinin azaltılması, daha düşük kurutma sıcaklıklarında hızlı kurutma sağlanması ve böylece gıda bileşenlerinin korunması bakımından ekonomik bir yöntem olan köpük kurutma işlemi çok sayıda avantaj sunduğundan özellikle meyve pulpları ve meyve suları

için uygun bir kurutma işlemidir. Bu nedenle, diğer kurutma işlemlerine bir alternatif olan ve gıda işleme endüstrisi için gelecek vaat eden bir kurutma tekniği olduğu düşünülmektedir. Gıdaların köpük kurutma işlemi ile kurutulmasında köpük yapı oluşumunu etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Daha iyi bir köpük oluşumu için çeşitli ajanlar ve stabilizatörler kullanılmaktadır. Ayrıca, karıştırma hızı ve süresin de köpük oluşumunu etkileyen önemli parametreler olduğu bildirilmektedir. Yüksek kalitede ve uzun raf ömrüne sahip toz ürün eldesi için köpük kurutma işlemi ile ilgili yapılan çalışmalar son yıllarda artış göstermiştir. Köpük kurutma işlem koşullarının belirlenmesine yönelik çalışmaların yanı sıra bu yöntemin diğer kurutma yöntemleri ile kombine edilerek kullanımına yönelik çalışmaların da gerçekleştirilerek son ürün kalite özelliklerinin iyileştirilebileceği düşünülmektedir.

6. Kaynaklar

- Abbasi, E., Azizpour, M., 2016. Evaluation of Physicochemical Properties of Foam Mat Dried Sour Cherry Powder. *LWT - Food Science and Technology*, 68, 105–110.
- Asokapandian, S., Venkatachalam, S., Swamy, G. J., Kuppusamy, K., 2016. Optimization of Foaming Properties and Foam Mat Drying of Muskmelon Using Soy Protein. *Journal of Food Process Engineering*, 1- 8.
- Ayten, A., Arslan, N., 2016. Limon Kabuğundan Elde Edilen Selüloz ve Karboksümetil Selülozun Reolojik Özellikleri. *Fırat Üniversitesi, Mühendislik Bilim Dergisi*, 28 (2), 119-133.
- Azizpour, M., Mohebbi, M., Khodaparast, M. H. H., Varidi, M., 2014. Optimization of Foaming Parameters and Investigating the Effects of Drying Temperature on the Foam-Mat Drying of Shrimp (*Penaeus indicus*). *Drying Technology*, 32, 374–384.
- Bag, S. K., Prem P., Srivastav, P. P., Mishra, H. N., 2011. Optimization of Process Parameters for Foaming of Bael (*Aegle marmelos* L.) Fruit Pulp. *Food Bioprocess Technology*, 4, 1450–1458.
- Brar, S. A., 2018. Optimization of Foam-Mat Drying Process for Peaches. In *Partial Fulfillment of Requirements for the Degree of Master of Applied Sciences in Engineering*, 1-76.
- Chakraborty, S., Banerjee, S., Mazumder, S., 2014. Functional Properties Based Statistical Optimization of Foam Mat Drying Parameters for Potato (Kufri Chandramukhi). *Global Journal of Science Frontier Research*, 14, 1–10.
- Çınar, İ. ve Erafşar, F.K., 2018. Köpük Kurutma Tekniğinin Meyve ve Sebze İşlemede Kullanımı. *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(2), 89-100.
- Darniadi, S., Ho, P., Murra, B. S., 2018. Comparison of Blueberry Powder Produced Via Foam-Mat Freeze Drying Versus Spray-Drying: Evaluation of Foam and Powder Properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(5), 2002–10.
- Dehghannayaa, J., Pourahmada, M., Ghanbarzadeha, B., Ghaffarib, H., 2019. A Multivariable Approach for Intensification of Foam-Mat Drying Process: Empirical and Three-Dimensional Numerical Analyses. *Chemical Engineering & Processing: Process Intensification*, 22-41.
- Erbay, B., Kıvrak, E., Orhan, H., Küçüköner, E., 2009. Dondurarak Kurutulmuş Havuç Dilimlerinin Renk, Rehidrasyon Özellikleri ve Bazı Duyusal Özellikleri Üzerine Farklı Antioksidan Çözeltilerin Etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(3), 229-236
- Erbay, B., Küçüköner, E., 2008. Gıda Endüstrisinde Kullanılan Farklı Kurutma Sistemleri. *Türkiye 10. Gıda Kongresi Erzurum*. 1045-1046.
- Erge, A., Zorba, Ö., 2018. Jelatinin Fonksiyonel Özellikleri ve Gıda Sanayinde Kullanımı. *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(7), 840-849.
- Falade, K. O., Adeyanju, K. I., Uzo-Peters, P. I., 2003. Foam-Mat Drying of Cowpea (*Vigna unguiculata*) Using Glyceryl Monostearate and Egg Albumin as Foaming Agents. *European Food Research and Technology*, 486–491.
- Falade, K. O., Okocha, J. O., 2012. Foam-Mat Drying of Plantain and Cooking Banana (*musa spp.*). *Food Bioprocess Technology*, 5, 1173-1180.
- Falade, K. O., Onyeoziri, N. F., 2012. Effects of Cultivar and Drying Method on Color, Pasting and Sensory Attributes of Instant Yam (*Dioscorea rotundata*) Flours. *Food and Bioprocess Technology*, 5(3), 879–87.
- Fernandes, R. V. B., Querioz, F., Botrel, D. A., Rocha, V. V., Lima, C. F., Souza, V. R., 2013. Foam Mat Drying of Tomato Pulp. *Bioscience Journal Uberlandia*, 29(4), 816-825.

- Franco, T. S., Perussello, C. A., Ellenderse, L. N., Masson, M. L., 2016. Effects of Foam Mat Drying on Physicochemical and Microstructural Properties of Yacon Juice Powder. *LWT-Food Science Technology*, 66, 503-513.
- Geankoplis, C. J., 2015. Taşınma Süreçleri ve Ayırma Süreci İlkeleri. İzmir Cüven Kitabevi Ltd. Şti. 1052 s, İzmir.
- Güzeler, N., Esmek, E. M., Kalender, M., 2017. Peyniraltı Suyu ve Peyniraltı Suyunun İçecek Sektöründe Değerlendirilme Olanakları. *Çukurova Tarım Gıda Bilim Dergisi*, 32(2), 27-36.
- Hardy, Z., Jideani, V. A., 2017. Foam-Mat Drying Technology: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(12), 2560-2572.
- Hettiarachchy, N. S., Ziegler, G. R., 1994. Protein Interactions in Foams: Protein—Gas Phase Interactions, Protein Functionality in Food Systems. Newyork: Marcel Dekker. German JB, Phillips L. 181-203.
- Ibidapo, O. P., Erukainure, O. L., 2012. Quality Characteristics of Foam Mat Dried Papaya (*Homestead var.*) Nectar. *International Journal of Food Nutrition and Safety*, 1(3), 127-136.
- Jakubczyka, E., Gondeka, E., Tamborb, K., 2011. Characteristics of Selected Functional Properties of Apple Powders Obtained by the Foam-Mat Drying Method. 1-5.
- Kadam, D. M., Raj Rai, D., Patil, R. T., Wilson, R. A., Kaur, S., Kumar, R., 2011. Quality of Fresh and Stored Foam Mat Dried Mandarin Powder. *International Journal of Food Science Technology*, 46, 793-799.
- Kadam, D. M., Wilson, R. A., Chanha, S., Grewal, M. K., Sharma, M., 2014. Evaluation of Physical and Chemical Properties of Foam-Mat Dried Mango (*Mangifera indica*) Powder During Storage. *Journal of Food Processing Preservation*, 38, 1866-1874.
- Kadam, D. M., Wilson, R. A., Kaur, S., 2010. Determination of Biochemical Properties of Foam-Mat Dried Mango Powder. *International Journal of Food Science Technology*, 45, 1626-1632.
- Kadam, D., Wilson, R. A., M., Kaur, S., Manisha, 2012. Influence of Foam Mat Drying on Quality of Tomato Powder. *International Journal of Food Properties*, 15(1), 211-220.
- Kadam, D.M., Balasubramanian, S., 2011. Foam Mat Drying of Tomato Juice. *Journal of Food Processing Preservation*, 35, 484-495.
- Kampf, N., Martinez, C. G., Corradini, M. G., Peleg, M., 2003. Effect of Two Gums on the Development, Rheological Properties and Stability of Egg Albumen Foams. *Journal Rheological Acta*, 42(259), 263-265.
- Kandasamy, P., Varadharaju, N., Dhakre, D. S., Smritikana, S., 2019. Assessment of Physicochemical and Sensory Characteristics of Foam-Mat Dried Papaya Fruit Powder. *International Food Research Journal*, 26(3), 819-829.
- Karagözlü, C., Bayarar, M., 2004. Peyniraltı Suyu Proteinlerinin Fonksiyonel Özellikleri ve Sağlık Üzerine Etkileri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41(2), 197-207.
- Kaushal, M., Sharma, P. C., Sharma, R., 2011. Formulation and Acceptability of Foam Mat Dried Seabuckthorn (*Hippophae salicifolia*) Leather. *Food Science Technology*, 50(1), 78-85.
- Khamjae, T., Rojanakorn, T., 2018. Foam-Mat Drying of Passion Fruit Aril. *International Food Research Journal*, 25(1), 204-212.
- Koç, G., Çabuk, B., 2019. The Effect of Different Microwave Powers on the Drying Kinetics and Powder Properties of Foam-Mat Dried Egg White Powder. *Gıda the Journal of Food*, 44(2), 328-339
- Lomakina, K., Mikova, K., 2006. A study of the Factors Affecting the Foaming Properties of Egg White - A Review. *Czech Journal of Food Sciences*, 24(3), 110-118.
- Maskan, M., 2001. Kinetics of Colour Change of Kiwifruits During Hot Air and Microwave Drying. *Journal of Food Engineering*, 48 (2), 169-75.
- Muthukumar, A., Ratti, C., Raghavan, V. G. S., 2008. Foam-Mat Freeze Drying of Egg White and Mathematical Modeling Part I Optimization of Egg White Foam Stability. *Drying Technology*, 26, 508-512.
- Ng, M. L., Sulaiman, R., 2017. Development of Beetroot (*Beta vulgaris*) Powder Using Foam Mat Drying. *LWT - Food Science and Technology*, 88, 80-86.
- Oliveira, D. M., Clemente, E., Costa, J. M. C., 2014. Hygroscopic Behavior and Degree of Caking of Grugru Palm (*Acronomia aculeate*) Powder. *Journal of Food Science and Technology*, 51(10), 2783-2789.
- Oliveira, T. M., Pirozi, M. R., Borges, J. T. S., Germani, R., Fontes, M. P. F., 2009. Caracterização do Amido de Grão-de-bico (*Cicer arietinum L.*). *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, 27(1), 27-42.
- Özçelik, M., Heigl, A., Kulozik, U., Ambros, S., 2019. Effect of Hydrocolloid Addition and Microwave-Assisted Freeze Drying on the Characteristics of Foamed Raspberry Puree. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2-10.

- Polatçı, H., Taşova, M., 2018. Mikrodalga Fırın ile Kurutulan Yenidünya (*Eriobotrya japonica L.*) Meyvesinin Kuruma Kinetiği ve Kalitesinin Belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi* *Anadolu Journal of Agricultural Sciences*, 125-126.
- Qadri, O. S., Srivastava, A. K., 2014. Effect of Microwave Power on Foam-Mat Drying of Tomato Pulp. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 16: 238-44.
- Qadri, O. S., Srivastava, A. K., 2015. Microwave-Assisted Foam Mat Drying of Guava Pulp: Drying Kinetics and Effect on Quality Attributes. *Journal of Food Process Engineering*, 40: 12295.
- Qadri, O. S., Srivastava, A. K., Yousuf, B., 2019. Trends in Foam Mat Drying of Foods: Special Emphasis on Hybrid Foam Mat Drying Technology. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2-8.
- Raharitsifa, N., Genovese, D. B., Ratti, C., 2006. Characterization of Apple Juice Foams for Foam-mat Drying Prepared with Egg White Protein and Methylcellulose. *Journal of Food Science*, 71(3), 142-150.
- Sangamithra, A., Venkatachalam, S., John, S. G., 2014. Foam Mat Drying of Food Materials: A Review. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(31), 65-74.
- Sankat, C. K., Castaigne, F., 2004. Foaming and Drying Behaviour of Ripe Bananas. *Lebensmittel-Wissenschaft U-Technology*, 37, 517-525.
- Schilling, K., Zessner, M., 2011. Foam in the Aquatic Environment. *Water Research*, 45, 4357.
- Seerangurayar, T., Manickavasagan, A., Al-Ismaili, M., Al-Mulla, Y.A., 2018. Effect of Carrier Agents on Physicochemical Properties of Foam-Mat Freeze-Dried Date Powder. *Drying Technology*, 36(11), 292-303.
- Shaari, N. A., Sulaiman, R., Rahman, R. A., Bakar, J., 2017. Production of Pineapple Fruit (*Ananas comosus*) Powder Using Foam Mat Drying: Effect of Whipping Time and Egg Albumen Concentration. *Journal of Food Processing and Preservation*, 1-10.
- Sramek, M., Woerz, B., Horn, H., Weiss, J., Kohlus, R., 2015. Preparation of High-Grade Powders from Honey –Glucose Syrup Formulations by Vacuum Foam-Drying Method. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40, 790-797.
- Varhan, K., Koç, M., 2017. Köpük Kurutma Yöntemi ile Gıdaların Kurutulması. *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(6), 637-645.
- Viuda-Martos, M., Ruiz-Navajas, Y., Martin-Sanchez, A., Sanchez-Zapata, E., Fernandez-Lopez, J., Sendra, E., 2012. Chemical, Physico-chemical and Functional Properties of Pomegranate (*Punica granatum L.*) Bagasse Powder Coproduct. *Journal of Food Engineering*, 110, 220-224.
- Yavuz, M., Özçelik, B., 2016. Bitkisel Protein İzolatlarının Fonksiyonel Özellikleri. *Akademik Gıda*, 14(4), 424-430.
- Zheng, X. Z., Liu, C. H., Zhou, H., 2011. Optimization of Parameters for Microwave-Assisted Foam Mat Drying of Blackcurrant Pulp. *Drying Technology*, 29(2), 230-238.