



Püskürtmeli Kurutma Tekniği ve Gıda Endüstrisinde Kullanımı: Gıda İşleme Teknolojisi

Mehmet YETİŞEN¹, Cem BALTACIOĞLU^{2*}, Duygu BOZ³

^{1,2,3}Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Niğde, TÜRKİYE

¹<https://orcid.org/0000-0001-8347-4081>

²<https://orcid.org/0000-0001-8308-5991>

³<https://orcid.org/0000-0002-5437-3908>

*Sorumlu Yazar: cembaltacioglu@ohu.edu.tr

Derleme

ÖZ

Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 06 Temmuz 2021

Kabul tarihi: 14 Eylül 2021

Online yayımlanma: 15 Aralık 2021

Anahtar Kelimeler:

Püskürtmeli kurutma

Ttoz ürünler

Mikroenkapsülasyon

Kurutma gıdaların raf ömrünü uzatmak için kullanılan en eski yöntemdir. Püskürtmeli kurutmanın temel fikri, çözücünün buharlaştırılmasıyla bir sıvı beslemesinden yüksek oranda dağılmış tozların üretilmesidir. Bu, ısıtılmış bir gazın, bir kap içinde (kurutma haznesi) ideal olarak eşit büyüklükteki, yüksek yüzey-kütle oranı damlacıkları atomize (püskürtülmüş) bir akışkan ile karıştırılmasıyla elde edilir; bu da çözücünün, doğrudan temas yoluyla muntazam ve hızlı bir şekilde buharlaşmasına neden olur. Püskürtmeli kurutma gıda sanayisinde yaygın kullanılmaktadır. Bunun nedeni gıdaların ısıya duyarlı olmaları ve tüketicilerin toz ürünlere olan ilgisidir. Süt tozu, peynir altı suyu proteini, kahve, çay ekstraktları, bebek mamaları, nişasta, enzimler, mikroorganizmalar, mayalar püskürterek kurutma ile üretilen ürünlerden bazılarıdır. Püskürterek kurutulmuş gıdaların kalitesi, çalışma parametrelerine oldukça bağlıdır. Daha iyi duyuşal, besleyici özelliklere ve daha iyi proses verimine sahip ürünler elde etmek için ürün özelliklerine göre proses optimizasyonu sağlanması gerekir. Optimum ürün verimi için püskürterek kurutma yöntemi, birçok yöntemle birlikte kullanılabilir. Gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri olan püskürtmeli kurutucular üstün performanslı kurutma sağlamasına karşın aktif materyali koruyan bir polimer matris içerisinde hapsedilmesi nedeniyle, günümüzde bu yöntem mikroenkapsülasyon tekniği olarak kabul edilmektedir. Bu derlemede, genel olarak püskürtmeli kurutucunun çalışma prensibi, gıda sanayinde kullanım alanları ve değiştirilmiş parametrelerde optimum ürün elde ile ilgili çalışmalar sunulmuştur.

Spray Drying Technique and Its Use in Food Industry

Review Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 06 July 2021

Accepted: 14 September 2021

Published online: 15 December 2021

Drying is one of the oldest methods used to extend the shelf life of foods. The basic idea of spray drying is to produce highly dispersed powders from a liquid feed by evaporation of the solvent. This is

Keywords:

Spray drying
Powder products
Microencapsulation

achieved by mixing a heated gas with an atomized (sprayed) fluid, ideally of equal size, high surface-to-mass ratio droplets in a vessel (drying chamber); this results in uniform and rapid evaporation of the solvent by direct contact. Spray drying is widely used in the food industry. This is because foods are sensitive to heat and consumers' interest in powdered products. Milk powder, whey protein, coffee, tea extracts, baby foods, starch, enzymes, microorganisms, yeasts are some of the products produced by spray drying. The quality of spray-dried foods is highly dependent on the operating parameters. In order to obtain products with better sensory and nutritive properties and better process efficiency, process optimization should be provided according to product properties. Spray drying method can be used in combination with many methods for optimum product yield. Although spray dryers, which are one of the methods widely used in the food industry, provide high performance drying, this method is today accepted as a microencapsulation technique because it is trapped in a polymer matrix that protects the active material. In this review, the working principle of spray dryer in general, usage areas in the food industry and studies on obtaining optimum product with modified parameters were presented.

To Cite :

Yetişen M., Baltacıoğlu C., Boz D., 2021. Püskürtmeli Kurutma Tekniği ve Gıda Endüstrisinde Kullanımı: Gıda İşleme Teknolojisi Tarım, Gıda, Çevre ve Hayvancılık Bilimleri Dergisi, 2(2): 163-189.

GİRİŞ

Gıdaları muhafaza etmenin en eski yöntemlerinden birisi kurutma metodudur (Özbay Doğu ve Sarıçoban, 2015). Gıdalar için kurutma, içerisindeki nemin değişik yöntemlerle uzaklaştırılarak bozulmasına neden olan etkenlerin ortadan kaldırılması olarak tanımlanabilir. Bu işlem için uygun olan kurutma yöntemini seçmek günümüz enerji ve ekoloji dengeleri açısından oldukça önemli hale gelmiştir. Üründen buharlaştırılan birim miktardaki nem için harcanan enerji miktarı kurutma sistemlerinde enerji ekonomisi için önemlidir (Hürdoğan ve ark., 2014).

Gıdaların kurutulması ev tipi geleneksel üretimlerle, doğal yollarla güneş altında yapılırken, büyük ölçekli kurutmalarda kurutucular ve kurutma odaları kullanılmaktadır. Bu kurutucular sıcak havalı (konveksiyon) kurutucular, fırın kurutucular, kabin (dolap) kurutucular, tünel kurutucular, bantlı kurutucular, sandık

kurutucular, püskürtmeli kurutucular, valsli (kondüksiyon) kurutucular, vakum kurutucular, dondurarak kurutucular (freeze-driers) ve mikrodalgalı kurutuculardır (Özbay Doğu ve Sarıçoban, 2015).

Püskürtmeli kurutma tekniği, 1870'lerden 1900'lerin başına kadar olan süreçte gelişim göstermiştir. Bu teknik, II. Dünya Savaşı döneminde gıdaların ve diğer materyallerin taşınmasını kolaylaştırma amacı ile ağırlıklarını azaltma ihtiyacından dolayı ortaya çıkmıştır. Çalışma prensibi ise gıdanın bir akışkan durumundan kurutulmuş parçacık formuna dönüştürülmesini temel alır. Bu teknikte kullanılacak gıdanın özellikleri çözelti, süspansiyon, emülsiyon veya dispersiyon formuna sahip olabilir. Kurutulmuş ürün, püskürtmeli kurutucuda kullanılacak gıdanın fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak toz, granül veya aglomera formunda olabilir (Killeen, 2000). Püskürtmeli kurutma, stabil ve fonksiyonel bir ürün elde etme açısından bilinen en iyi yöntemlerden biridir. Püskürtmeli kurutucunun patenti 1872 yılında Samuel Percy tarafından alınmıştır. Sanayide ilk kullanımı ise 1920'li yıllarda süt tozu ve deterjan üretimi üzerine olmuştur. Püskürtmeli kurutma işleminin temel olarak kurutulacak materyalin yüksek basınç altında atomize edilmesi (çok küçük partiküller hâlinde püskürtülmesi) ve daha sonra sıcak kuru havayla karşılaştırılarak çok kısa süre içerisinde kuru ürüne çevrilmesi işlemine dayanır (Odabaş, 2017). Bu kurutma yöntemi süt, peynir altı suyu, yoğurt, dondurma karışımları, bebek mamaları, yumurta, kahve, çay, meyve ve sebze suları, enzimler ve eczacılık ürünlerinin kısa kurutma süresi ve toz formda ürün elde edebilme özellikleri nedeniyle ısıya duyarlı birçok maddenin kurutulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Koç, 2014).

Literatürde püskürtmeli kurutucu hakkında son yıllarda yapılan çalışmaları derleme ihtiyacı duyulmuştur. Bu derlemenin amacı, genel olarak püskürtmeli kurutucunun çalışma prensibi, gıda sanayinde kullanım alanları ve değiştirilmiş parametrelerde optimum ürün eldesi ile ilgili çalışmalar sunulmuştur.

Gıdalarda Kurutma Teknolojisi

Gıda koruma yöntemlerinin en eskilerinden biri olan gıdaların kurutulması eski çağlardan beri kullanılmaktadır. Kurutma işleminde, özellikle sıcak iklime sahip alanlarda, gıdanın uzun süre depolanabilmesi için uygulanan en eski ve kolay gıda saklama yöntemlerinden birisidir. Günümüzde soğutma ekipmanlarının kısıtlı olduğu ve soğuk zincirin sağlanamadığı alanlarda, kurutma işlemi iyi bir gıda muhafaza yöntemi olmuştur. Sıcak iklime sahip bölgelerde yapılan güneşte kurutma ile de maliyeti düşük bir kurutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Kurutmanın temel amacı, ürünün raf ömrünü uzatmak veya yeni bir ürün elde edebilmektir. Bu bağlamda gıda endüstrisinde üretilen ürünlerin çoğunluğu, kurutulmuş ya da orta nemli gıdalardan oluşmaktadır. Kurutma sayesinde raf ömrü artan gıdalar kaybettiği ağırlıklarından ötürü daha kolay taşınır hale gelerek bu sayede depolama ve taşıma maliyetlerini en aza indirmektedir. Katı gıdaların kurutulması zor bir süreç olmasına rağmen, uygulanan çeşitli ön işlemler sayesinde gıdanın sahip olduğu suyun rahat bir şekilde uzaklaştırılması ve buna paralel olarak katı gıdanın daha hızlı kurutulması sağlanmaktadır. Bu ön işlemler kısaca ısıtma, dondurma veya boyut küçültme şeklinde yapılmaktadır. Birçok endüstriyel kurutucu bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla sıcak havalı (konveksiyon) kurutucular; fırın kurutucular, kabin (dolap) kurutucular, tünel kurutucular, bantlı kurutucular, sandık kurutucular, püskürtmeli kurutucular; valsli (kondüksiyon) kurutucular, vakum kurutucular, dondurarak kurutucular (freze-driers), mikrodalgalı kurutucular olarak sınıflandırılmaktadır. (Özby Doğu ve Sarıçoban, 2015). Püskürtmeli kurutucular ısıya karşı hassasiyet gösteren birçok gıdanın kurutulması işleminde kullanılmaktadır. Tasarım esnekliği sayesinde değişkenlerin doğrudan ürüne özgü olmasını sağlayan, daha az iş gücü gerektiren son üründe ekipman ile ürün arasında yapışkanlık göstermeyen,

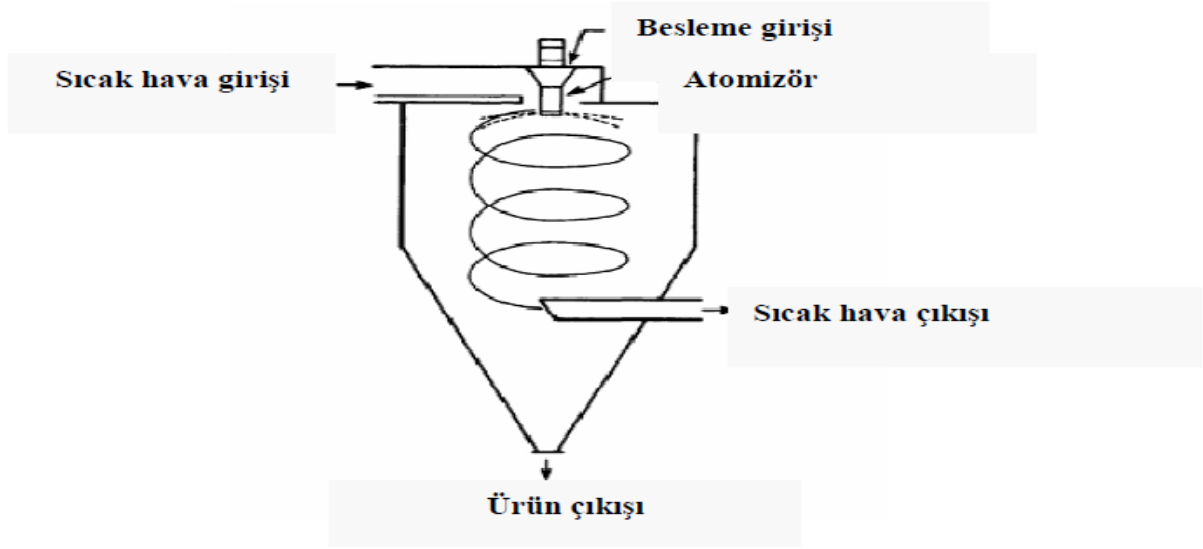
korozyona neden olmayan, düşük maliyetli ve yüksek kalitede ürün elde etmemizi sağlayan bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır (Kara, 2017).

Püskürtmeli Kurutucunun Genel zellikleri ve alışma Prensibi

Püskürtmeli kurutucunun 1782 yılında icadından sonra sanayide ilk kullanımı 1920'li yılları bulmuştur ve ilk üretim alanı süt tozu ve deterjan ürünleri olmuştur. Genel anlamda değerlendirildiği zaman, gıda, ilaç, ziraat, kozmetik ve kimya sanayisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Odabaş, 2017). Süt kurutmada ilk defa kullanılan bu yöntem ile atomize edilebilir yapıdaki ürünlere, yani sıvı veya akışkanlığa karşı göstermiş olduğu direnci düşük gıdalara (pre gibi) uygulanır. Kurutma hızının yüksek olmasının yanı sıra, nihai ürün toz formundadır ve ürünün parçacık boyutu 10-200µ (mikron)'dur. Püskürtmeli kurutucunun çalışma prensibi, kurutulacak materyalin yüksek basınç altında çok küçük parçacıklar halinde pskrtlebilmesi sonrasında sıcak kuru hava ile çarpışarak çok kısa zaman içerisinde kurutulması amaçlanır (Phisut, 2012).

Püskürtmeli kurutucunun çalışma prensibinin temelinde ısı ve kütle transferleri yatmaktadır. Sıcak havadan damlacıklara ısı aktarılmakta ve bu ısı çözeltideki uçucu maddenin buharlaşarak gaz fazına geçmesini sağlamaktadır. Damlacıklardaki suyun buharlaşması çok hızlı bir Şekilde meydana geldiğinden, kuruyan ürünün sıcaklığı ortalama 50-70°C arasında bulunur. Kuruma işlemi genellikle 3-10 saniye aralıklarında gerçekleşir. Katı hale geçen ve kuruyan damlacıklar, gaz akımı ile sürüklenerek sistemin çıkışında bulunan uygun bir tutucu yardımıyla hapsedilmektedir (Saygı, 2013). Püskürtmeli kurutucu içine beslenen sıvı çözelti sırasıyla dört işlemden geçmektedir. Bu işlemler; sıvının ince damlacıklar halinde püskürtülmesi (atomizör), damlacıkların sıcak hava ile karşılaşması, damlacıkların içindeki nemin buharlaşması

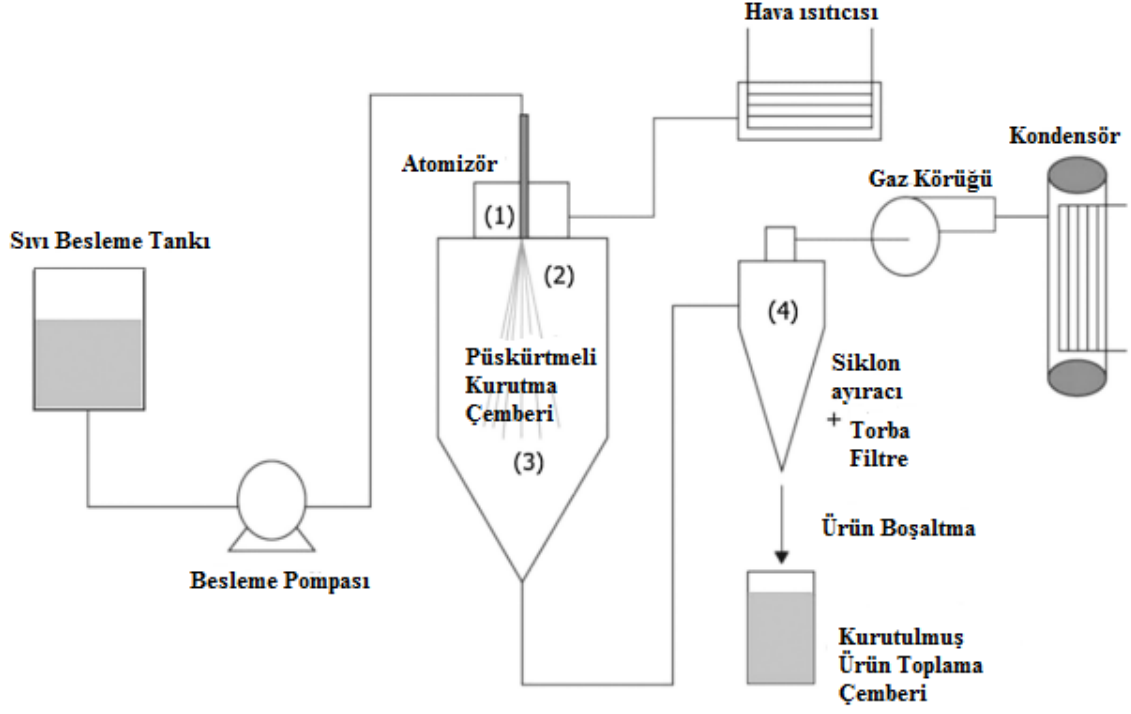
ve kurutucu duvarına çarpan ve dökülen toz ürünün gaz ile taşınıp uygun bir tutucuda (kolektör) toplanmasıdır (Dinçel, 2015).



Şekil 1. Püskürtmeli kurutucunun şematik gösterimi (Dinçel, 2015)

Atomizör, kurutma kinetiği, elde edilen tozun kalitesi ve işlemin enerji verimliliği ile yakından ilişkili olduğu için genellikle püskürtmeli kurutma işleminin kalbi olarak kabul edilir (Atuonwu ve Stapley, 2017). Atomizörün ana hedeflerinden biri, ultra hızlı kurutmayı sağlamak için yüzey-hacim oranını arttırmaktır. Sıvıdan küçük damlacıkların oluşumu atomizör yoluyla olur. Hızlı kurutma ile istenen morfoloji ve fiziko-kimyasal özelliklere sahip ısıya duyarlı bileşiklerin ve parçacıkların minimum kaybıyla sonuçlanır (Selvamuthukumaran, 2019). Atomizör kurutulacak sıvıyı, çeşitli faktörlere bağlı olarak basınç altında 5-100µ arasında küçük zerreciklere parçalayan (pülverize eden) düzendir (Dinçel, 2015). Damlacığın oluşması ve damlacık ile havanın teması püskürtmeli kurutucunun temel özellikleridir. Atomizörün seçimi ve çalışma şartları ürün verimliliği için ekstra öneme sahiptir. Damlacıkların oluşması için döner atomizörler ve nozüller kullanılmaktadır. Döner atomizörler, yüksek hızla

dönen tekerleğin ya da diskin enerjisini kullanarak sıvıları damlacıklara bölmektedir. Döner atomizörler, güvenilir, operasyonu kolay ve değişen besleme hızlarına kolay uyum sağlayabilen sıvı dağıtıcı sistemdir (Ayar, 2015). Sprey kurutmalı atomizörlerin birçok türü mevcuttur. Büyük ölçekli operasyonlarda tipik olarak santrifüjli atomizörler veya yüksek basınçlı tek akışkan nozüllü atomizörler kullanılırken, daha küçük kurulumlar pnömatik (çift akışkan) nozüllü atomizörler, ultrasonik atomizörler veya elektrostatik püskürtücüler kullanabilir (Wisniewski, 2015). Elektrostatik atomizörler, kısmen çok düşük besleme akış hızları nedeniyle gıda sanayi uygulamalarında nadiren kullanılır. Atomizör seçimi, püskürtülerek kurutulan nihai ürünün özellikleri ve kalitesi üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (Phisut, 2012). Atomizör seçimi, üretim ölçeğine, sıvı beslemenin fiziksel özelliklerine (viskozite vb.) ve ürün gereksinimlerine bağlıdır. Damlacık boyutu, atomizör tipine ve son ürün özelliklerini büyük ölçüde etkileyen atomizasyon parametrelerine bağlı olarak değişir. Atomizör tipinden bağımsız olarak, kurutma çemberinin duvarlarına ulaşmadan önce optimum damlacık kurumasını sağlamak için besleme akış hızı ayarı önemlidir. Besleme akış hızı, sıvıyı atomizöre besleyen pompanın hızı ile ilişkilidir (Şekil 2).

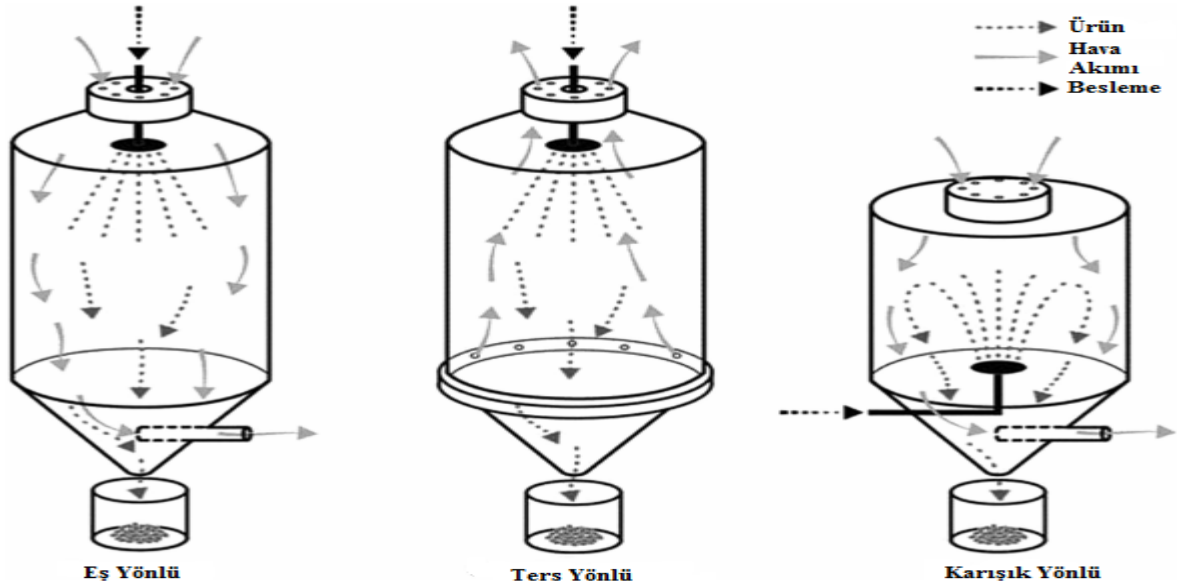


Şekil 2. Püskürterek kurutma işleminin ana adımları ve bileşenleri (Selvamuthukumaran, 2019)

Püskürtmeli kurutucu parametrelerinin etkilediği en önemli faktör elde edilen toz ürünün kalitesidir. Toz ürün karakteri ve kalitesi kullanım alanı ile birlikte tüketici isteklerine göre belirlenmektedir. İstenilen dökme yoğunluğunu karşılayabilmek için, ürünün parçacık boyutu ve dağılımına etki eden parametrelerden ne şekilde etkilendiğinin belirlenmesi gerekmektedir. Partikül boyutu ve dağılımı damlacıkların boyut ve dağılımıyla doğrudan ilgilidir. Bu nedenle damlacık boyutunun doğru bir şekilde tahmin edilmesi, istenen toz ürün özelliklerinin kontrolünü de sağlamaktadır. Ortalama damlacık boyutu bütün damlacıkların dağılımını karakterize etmektedir. Bu değer, boyut dağılımı ile birlikte 'püskürtme karakteristiği' olarak tanımlanır (Özdemir, 2009).

Damlacığın kurutulan havayla nerede karşılaşacağı püskürtmeli kurutucu tasarımındaki en önemli faktörlerin başında gelmektedir. Damlacığın havayla temas şekli, kurutma fazı boyunca damlacığın davranışlarını ve doğrudan kuru ürünün

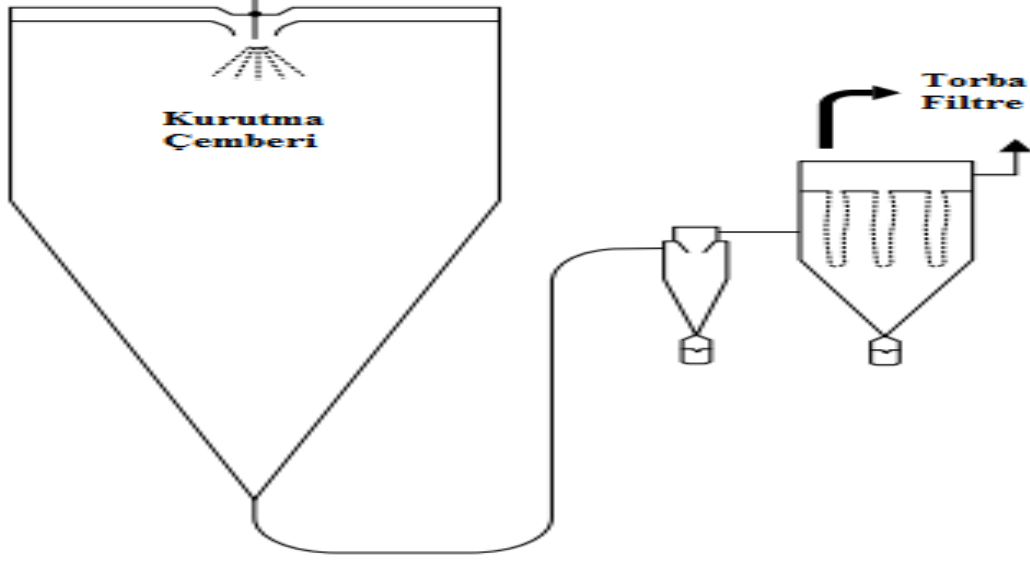
özelliklerini etkilediği bilinmektedir. Damlacık ile kurutucu hava aynı doğrultuda odacığa girerse eş yönlü akım adını almaktadır (Şekil 3). Süt ürünleri gibi ısıya fazla duyarlı gıda ürünleri genelde eş yönlü kurutucularda kurutulurlar (Dinçel, 2015). Ters yönlü akımda hava ve damlacık kurutucunun ters yönlerinden gönderilmektedir (Şekil 3). Hava aşığı kısımdan içeri girerken, atomizör üst bölüme yerleştirelmıştır. Eş yönlü akıma oranla daha hızlı evaporasyon ve daha yüksek enerji verimliliği göstermektedir. En kuru parçacıklar bile en sıcak havayla temas halinde olduğundan ısıya duyarlı ürünler için kesinlikle uygun değildir. Sabun ve deterjan üretiminde genel olarak ters yönlü akım kurutucularından yararlanılmaktadır (Dinçel, 2015). Karışık yönlü akım hem eş yönlü hem de zıt yönlü akımlar ile kombine edilmiştir (Şekil 3). Hava üst taraftan sisteme girerken, atomizör alt kısma yerleştirelmıştır. Ters yönlü tasarımındaki gibi, karışık akım kurutucusunda da en kuru partiküllerle en sıcak havanın teması söz konusudur. Bu sebeple ısıya duyarlı ürünlerde kullanılması tercih nedeni değildir (Dinçel, 2015).



Şekil 3. Eş yönlü, ters yönlü ve karışık yönlü püskürtmeli kurutucular (Wong ve John, 2016'dan uyarlanmıştır).

Sıvı beslemenin püskürtülmesi, damlacıklar ve sıcak hava arasındaki temas, damlacıkların kurutulması ve hava ile karıştırılmış kuru parçacıkların toplanması, püskürtmeli kurutma çemberinde gerçekleşir. Bu hazne, tipik olarak 304 paslanmaz çelikten yapılmış, konik bir tabana sahip büyük bir silindirik üst kısımdan oluşur. Çoğu endüstriyel püskürtmeli kurutucu, kurutma ortamı olarak hava ile konvektif kurutma kullanır. Çoğu tasarımda, püskürtmeli kurutma odasının çatısı atomizör ile donatılırken, konik alt kısım ayırma sistemine bağlıdır. Sıcak hava giriŖi kurutma çemberinin alt kısmından girdiği ters akımlı püskürtmeli kurutucular hariç, çemberin tepesinde bulunur. Kurutma çemberinin boyutları yaklaşık 8 ila 30 m yüksekliğinde ve 5 ila 10 m çapında değişebilir (Zbicinski, 2017). Bunlar püskürtmeli kurutucu kapasitesi ve damlacık kuruma süresi ile ilgilidir. Daha ince damlacıklar, hızla kurudukları için genellikle daha kısa kalma süreleri gerektirir ve bu nedenle kurutma çemberinin boyutları daha küçük olabilir. Nispeten büyük püskürtmeli kurutucuların buharlaşma kapasitesi saatte yaklaşık 1.500 ile 2.000 kg su olabilir (Wisniewski, 2015). Sıvı atomizasyonu, hammaddeden küçük damlacıkların üretilmesini ifade eder. Damlacıklar atomizörde oluştuktan hemen sonra buharlaşan suyu uzaklaştırmak için kurutma ortamı görevi gören hareketli bir sıcak hava akımına parıltılı bir şekilde atılır. Püskürtülen sıvı damlacıkları ile sıcak hava arasındaki temas, damlacık sıcaklığında hızlı ve ani bir artışa neden olur, bu da suyun hızlı bir şekilde buharlaşmasına ve kurumasına neden olur. Tüm kurutma işlemi, damlacıklar kurutma çemberinin duvarına ulaşmadan önce birkaç saniye içinde bile tamamlanabilir. Hava akımında asılı kalan kurutulmuş parçacıklar, toplandığı ve paketlenildiği ayırma ekipmanına (örneğin siklon ve torba filtre) akar (Masters, 1991; Karel ve ark., 1995; Anandharamkrishnan ve Padma, 2015; Wisniewski, 2015). Genellikle bir sprey kurutucu ile entegre edilen bir siklon ayırıcı, katı parçacıkları bir taşıyıcı gazdan ayırmak için merkezkaç kuvveti kullanan sabit bir mekanik cihazdır. Üst silindirik bir

parçadan oluşur. Katı partiküllerle yüklenen gaz akışı, püskürtmeli kurutucudan çıkarak koninin tepesinden teğet olarak girer ve koninin içine doğru aşağı doğru ilerleyerek bir dış girdap oluşturur. Dış girdapta artan hava hızı, partiküller üzerinde onları gaz akımından ayıran bir merkezkaç kuvveti uygular. Gaz akımı koninin dibine ulaştığında, bir iç girdap yaratılır, böylece yönünü tersine çevirir ve tepeden temiz gaz olarak dışarı çıkar. Partiküller, siklonun dibine bağı toplama odasına düşer. Torba filtre (Şekil 4), sürekli çalışma ve otomatik temizleme için tasarlanmış metal bir muhafaza içerir. Partikül yüklü hava, torba filtrenin orta veya alt kısmındaki (yani hazne) toplayıcıdan emme veya basınç altında girer. Parçacıklarla birlikte hava, ürün parçacıklarını yüzeyinde tutan filtre torbasından geçer. Temiz hava torbalardan geçer. Torbalar üzerinde toz birikmesi, filtre torbaları boyunca basınç farkının artmasına neden olur. Basınçlı hava valflerin açılmasına neden olur ve bir haznede depolanır. Her bir torba sırasının üzerinde, gaz akışını anlık olarak tersine çevirmek için içinden basınçlı havanın enjekte edildiği, torbaların üzerinde bulunan merkezi hava geçiş boşluğu ile hizalanmış deliklere sahip bir tüp vardır. Bu, torbaların dışında biriken partikül malzemenin çıkarılmasına neden olur (Anandharamkrishnan ve Padma, 2015).



Şekil 4. Torba filtreli spray kurutucunun şeması (Lindeløv ve Wahlberg, 2009)

GIDA ENDÜSTRİSİNDE KULLANIM ALANLARI

Püskürtmeli kurutma işlemi, sıvı veya kıvamlı bir çözeltinin tek bir aşamada kuru ürüne çevrilmesi işlemidir. Bu kurutma yöntemi süt, peynir altı suyu, dondurma karışımları, yoğurt, bebek mamaları, yumurta, çay, kahve, meyve ve sebze suları, enzimler ve eczacılık ürünlerinin kısa kurutma süresi ve toz formda ürün elde edebilme özellikleri nedeniyle ısıya duyarlı birçok maddenin kurutulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Koç, 2008).

Süt Tozu Üretimi

Süt tozu; yağlı, yağı kısmen veya tamamen alınmış süttten, kremadan veya bu ürünlerin karışımından suyun doğrudan uzaklaştırılması (konsantrasyon) ile elde edilen ve son üründe nem içeriğinin ağırlıkça en fazla %5 oranında olduğu katı ürünü ifade eder. Sütü uzun süre dayanıklı ve daha sonra tüketilebilecek hâle getirmenin yolu kurutmadır. Günümüzde kullanılan modern kurutma teknikleri ile sütün besin değerinde herhangi bir kayıp olmaksızın toz haline

dönüŖtürülebilmektedir. Ancak enerji tüketiminin ve dolayısıyla enerji maliyetinin yüksek olması kurutmanın bir dezavantajıdır. Buradaki prensip, ürünün bir kurutma hücresindeki sıcak hava içersine atomize (pülverize) edilerek son derece geniş bir yüzey kazandırılması ve böylece sıcak hava içinde hızlı bir kuruma sağlanmasıdır (Ayar, 2015).

Konsantrasyon (buharlaştırma) genellikle çok etkili bir buharlaştırma sisteminde sürekli olarak 40°C–70°C'de gerçekleştirilir. Burada, sütün katı madde miktarı %12'den yaklaşık %50'ye yükselir, bu da püskürtmeli kurutmanın verimliliğini artırır (Castro-Albarrán ve ark., 2016, Felix da Silva ve ark., 2017). Ayrıca püskürterek kurutma, immünoglobulinler, enzimler, süt yağı, büyüme faktörleri, hormonlar veya oksidatif stres belirteçleri gibi bazı hassas biyoaktif bileşikleri etkisiz hale getirebilir (Nabhan ve ark., 2004; Zhang ve ark., 2016; Escuder-Vieco ve ark., 2018).

Süt tozunun en önemli fonksiyonel özelliklerinden biri rehidrasyondur. Bu özellik süt tozunun gıda ürünlerine dahil edilmesine olanak sağlamaktadır (Thomas ve ark., 2004). Süt tozunun depolanması sırasında, süt tozunun rehidrasyon özellikleri laktozun kristalleşmesi, lipitlerin oksidasyonu ve Maillard reaksiyonu gibi fiziksel işlemler ve kimyasal reaksiyonlardan büyük ölçüde etkilenir (Tehrany ve Sonneveld, 2010, Le et al., 2011). Ayrıca, lipitlerin süt tozu yüzeyine göçü, depolama sırasında süt tozunun yetersiz rehidrasyonundan da sorumludur (Gaiani ve ark., 2007). Püskürterek kurutulmuş inek sütü tozu için Kosasih ve ark. (2016), su aktivitesi 0.22 olan süt tozunu 37 °C'de 18 haftalık depolama boyunca incelemeleri sonucunda lipitlerin toz yüzeyine göçü ve yüzeye yayılmasından ötürü süt tozunun çözünürlüğünü %15 oranında azalttığını bildirmişlerdir. Bu nedenle süt tozunun fonksiyonel özelliklerini korumak için düşük bağlı nem seviyelerinde saklanması gerekir (Ho ve ark., 2019).

Enkapsülasyon Teknolojisi

Enkapsülasyon teknolojisi, bir maddeyi başka bir madde içerisine hapsetmek için kullanılır. Püskürtmeli kurutma kullanarak kapsülleme işlemi, gıda endüstrisinde başarıyla kullanılan güvenilir bir tekniktir (Agnihotri ve ark., 2012; Aguiar ve ark., 2016). Son zamanlarda gıdaların mikroenkapsülasyonunda püskürtmeli kurutma yöntemi en çok tercih edilen ve en ucuz olan yöntemdir. Bu yöntemle mikroenkapsüle edilmiş ürünlerin üretim maliyeti diğer birçok yöntemle göre oldukça düşüktür. Dondurarak kurutma yöntemi ile kıyaslandığı zaman, püskürtmeli kurutma yönteminin 30 ile 50 kat arasında daha ucuz olduğu görülmektedir. Ancak, püskürtmeli kurutma işleminde ortaya çıkan yüksek enerjinin tümü kullanılamamakta ve enerji israfı ortaya çıkmaktadır. Püskürtmeli kurutma yöntemi ile mikroenkapsülasyon işleminde 4 temel aşama bulunmaktadır. Bunlar dispersiyon veya emülsiyon hazırlama, dispersiyonun homojenizasyonu, atomizasyon ve kurutmadır (Koç, 2009). Püskürtmeli kurutma yöntemi, büyük miktarlarda kapsül üretiminin gerçekleştirilebilmesine olanak sağlaması ve gıda bileşenleri için uygun olan kaplama materyallerinin kullanımına elverişli olması açısından avantajlıdır (Koç ve ark., 2015).

Yağların mikrokapsülasyonu

Son zamanlarda mikrokapsülleme teknolojisi, gıda bileşenleri olarak kullanılan hurma yağı, balık yağı ve Hindistan cevizi yağı gibi katma değeri yüksek yağlarla kullanılan yaygın bir teknoloji haline gelmektedir (Lozano-Vazquez ve ark., 2015). Yağların mikroenkapsüle edilmesi sırasında elde edilen ürünün özelliklerini ve stabilizesini etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörler kapsüllenecek yağın özelliği, kullanılan taşıyıcı maddelerin ve bu maddelerle oluşturulan emülsiyonun özellikleri, püskürterek kurutma sırasında uygulanan işlem parametreleri ve elde edilen

mikrokapsüllerin depolama koŖulları sayılabilir (Koç ve ark., 2015). Yağların kapsüllenmesi, lipitlerinin oksidatif stabilitesini geliştirir ve aktif bileşikler, yağlar, aroma bileşikleri ve vitaminler gibi bileşenleri çevresel faktörlerden korur. Bu, örneğe yüksek çözünürlük özelliği verir. Ayrıca, uçucu bileşiklerin buharlaşmasını azaltarak, hoş olmayan tatları maskeler veya önler (Kolanowski ve ark., 2006; Ahn ve ark., 2008; Jafari ve ark., 2008; Zheng ve ark., 2018). Böylece sıvıların toz haline getirilerek kapsüllenmiş bir forma dönüştürülmesi, işleme ve taşıma sırasında ürünün stabilitesini ve akış özelliklerini iyileştirebilir (Jafari ve ark., 2008). Yüksek verimli mikrokapsüllenmiş yağ ile ilişkili püskürtmeli kurutma tekniğinin optimize edildiği birçok çalışma vardır. Alcântara ve ark. (2019), ultrason kullanarak chia yağı içeren emülsiyon beslemesini optimize etmiştir. Ultrason destekli püskürtmeli kurutucu ile üretilen tozların yüksek kapsülleme verimliliği ve yüksek oksidatif stabilite özelliklerine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Aroma maddeleri

Aroma maddeleri düşük moleküler ağırlığa sahip organik moleküllerdir. Oldukça uçucudurlar ve hava, ısı, ışık ve neme karşı çok hassastırlar (Bakry ve ark., 2016). Bu nedenle, kapsülleme, hem tadı hem de aromayı korumak için gıda endüstrisinde kullanılan yaygın bir uygulamadır. Uygulanan kapsülleme tekniğine bağlı olarak, kapsülleme işleminden elde edilen malzemeler toz, hamur veya sıvı olabilir (Prost ve ark., 2020). İşlenmiş gıda ürünlerinde, ürünün işlenmesi ve depolanması sırasında tat ve aroma bozulması meydana gelir. Bozulma seviyesini azaltmak ve tat ve aromanın orijinalliğini korumak için önceden kapsüllenmiş uçucu bileşenler yiyecek ve içeceklerde kullanılabilir (Madene ve ark., 2006). Örneğin, fırıncılık endüstrisinde, kapsüllenmiş aroma ve aroma bileşiklerinin toz formları tartımı ve depolanması kolay olduğu için kullanılır. Fırıncılık uygulamalarında taşıyıcı madde olarak nişasta,

buğday unu veya soya unu kullanılmaktadır (Cappelle, 2002). Kapsülleme, aromayı oksidatif ve termal bozulmalara karşı korur ve verimli işlemeye izin verir (Fuciños ve ark., 2017; Feng ve ark., 2018). Örneğin kuru, granül veya toz gıda ürünleri, partiküllerin bir matris içinde çözünmesini önler. Kapsülleme aynı zamanda, istenmeyen tatları veya çok güçlü kokuları maskeleyeme potansiyeline sahiptir (Ezhilarasi ve ark., 2013).

Püskürterek kurutma işlemi aroma, lipit ve karotenoidler gibi gıda bileşenlerini kapsüllemek için uzun yıllardır kullanılmaktadır (Mahdavi ve ark. 2014). Jedlińska ve ark. (2021), kolza ve salgı balı örneklerinden iki farklı sıcaklıkta (giriş hava sıcaklıkları 180°C ve 75°C) püskürtmeli kurutma işlemi sonrasında elde edilen tozların kalitesini karşılaştırmışlardır. Düşük sıcaklıkta püskürtmeli kurutma yöntemiyle (nemi alınmış hava ile) elde edilen tozlar, geleneksel yöntemle elde edilen tozlar ile karşılaştırıldığında daha yüksek polifenol içeriği, aromatik bileşikler ve antioksidan aktiviteye sahip olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde Samborska ve ark. (2021), düşük ve yüksek sıcaklıkta püskürtmeli kurutma işlemi uygulanan şeker kamışı melasının uçucu aroma bileşiklerini incelemiştir. Bu etkinin, incelenen iki faktör dışında, uçucu bileşiklerin tipi/kökünü ve partikül morfolojisine de bağlı olduğu gözlenmiştir. Ayrıca taşıyıcı ilavesi, düşük sıcaklıkta püskürtmeli kurutmadan sonra aroma bileşiklerinin içeriğini arttırmıştır.

Meyve suyu tozu üretimi

Püskürterek kurutma, meyve suyu tozları üretmek için yaygın olarak kullanılan bir işlemdir. Tozlarda, iyi kalite, düşük su aktivitesi, daha kolay taşıma ve depolama amaçlanır. Püskürterek kurutma ile üretilen tozların fizikokimyasal özellikleri, işlem ve/veya çalışma parametrelerinin değişkenlerine bağlıdır. Püskürterek kurutma genellikle partikül büyüklüğü dağılımının nispi kontrolünü sağlarken malzeme çok

hızlı işlenebildiğinden seçilir. Genel olarak, besleme stoğuşu sprey kurutucuya katılmadan önce konsantre edilir. Memeden püskürtülen sıvı, daha sonra sıcak hava ile temas ettirilecek ve bir toz halinde kurutulacak olan sıvının yüzey alanını arttıracaktır. Bu aşamanın amacı, ısı ve kütle transferini optimize etmek amacıyla, kuru hava ile sıvı arasında maksimum bir ısı transfer yüzeyi yaratmaktır (Phisut, 2012). 1978 yılında portakal suyu tozu elde etme ile başlayan bu teknik, o zamandan beri birçok yazar tarafından acai üzümü, açerola kirazı, karadut, mango, ananas, nar ve karpuz gibi çok sayıda meyve sularından, ayrıca defne ve ıhlamur çaylarından toz elde etmek için incelenmiştir (Abadio ve ark., 2004; Cano-Chauca ve ark., 2005; Fang ve Bhandari, 2012; Fazaeli ve ark., 2012). Zhang ve ark. (2020), püskürterek kurutmanın kızılıık suyunun fenolik bileşikleri ve depolama sırasındaki stabiliteleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Püskürterek kurutmadan sonra toplam fenolik madde, proantosiyeninler ve antioksidan kapasitenin arttığını bildirmişlerdir. Sonuç olarak, toplam fenolik maddelerdeki artışın fenolik polimerlerin ayrışmasından kaynaklandığını doğrulamıştır.

Kemik suyu tozu üretimi

Kemik suyu kolajen, kalsiyum, fosfor, hyalüronik ve kondroitin sülfat açısından zengin olduğı için halk sağılığında uzun yıllardır yara iyileştirici, cilt ve bağı dokusu yenileyici olarak bilinmektedir (Aljumaily, 2011). Bilindiğı gibi kemik suyu sıvı bir gıda maddesi olduğundan depolama ve nakliye için büyük hacimler kaplar. Ayrıca kimyasal bileşimi nedeniyle sınırlı raf ömrüne sahiptir. Bu nedenle bu tür sıvı gıdaların uygun muhafaza yöntemleri ile depolama stabilitesinin artırılması gerekmektedir. Ayrıca, yüksek protein ve yağ içeriğinden dolayı kemik suyu, taşıyıcı maddeler olmadan püskürtmeli kurutucuda toz haline getirilemez. Taşıyıcı maddelerle kapsülленerek kullanılması gerekir. Sprey kurutma yönteminde taşıyıcı

ajan olarak genellikle maltodekstrin, zamklar, pektin, nişastalar ve mısır şurubu gibi karbonhidratlar kullanılmaktadır (Haluk ve ark., 2018). Taşıyıcı ajanlar, oksidasyon reaksiyonlarına yol ačan oksijen, su ve ışığa karşı ekstra koruma sağlar (Turchiuli ve ark., 2005). Kara (2017) alışmasında, püskürtmeli kurutucu ile kemik suyu tozu üretmiştir. Bu amaçla ilikli kemikler (*femur* ve *humerus*) kaynatılarak kemik suyu elde edilmiştir. Elde edilen kemik suyu peynir altı suyu protein izolatu ve maltodekstrin ile enkapsüle edildikten sonra püskürtmeli kurutucu ile kurutulmuştur. Doğrudan tüketilebilen kemik suyu, sentetik katkı maddeleri içeren lezzet arttırıcılar (monosodyum glutamat ve çeşitli katkı maddeleri içeren bulyonlar) yerine, yemeklerde lezzet verici olarak kullanılabilir doğal bir bileşen olduğunu vurgulamışlardır.

Yoğurt tozu üretimi

Püskürtmeli kurutma, yoğurt tozu elde etmek için kullanılabilir, bu da yoğurdun daha fazla korunmasına katkıda bulunur ve soğutulmuş bir ortama ihtiyaç duymadan nakliyesini ve depolanmasını kolaylaştırır (Kumar ve Mishra, 2004; Capela ve ark., 2006). Yoğurt tozu, meyve sularında, bisküvilerde, dondurmalarda, şekerlemelerde ve sütlü içeceklerde bir bileşen veya takviye olarak kullanılabilir ve bu nedenle ürünlere besin ve fonksiyonel değerler katabilir (Kumar ve Mishra, 2004; Tamime ve Robinson, 2007; Bastioęlu ve ark., 2016). Rascón-Díaz ve ark. (2012), hidrokolloidlerin yoğurdun püskürterek kurutulması üzerindeki etkisini incelemiş ve bu bileşiklerin asetaldehit seviyelerini %92.6'da koruduğunu doğrulamıştır. Yoğurt tozu üretimi çalışmasında püskürtmeli kurutucu hava giriş sıcaklığının (150-180°C), hava çıkış sıcaklığının (60-90°C) ve besleme sıcaklığının (4-30°C) bağımsız değişkenler olarak seçildiğini bildirmiştir. Bu değişkenlerden elde edilen yoğurt tozuna ait canlı laktik asit bakteri sayısı, nem içeriği, renk, su aktivitesi, titre edilebilir asitlik (% laktik asit) ve pH,

rekonstitüsyon özellikleri (çözünebilme oranı, dağılılabirlik ve ıslanabilirlik), partikül boyutu ve duyuusal kalite özellikleri incelenmiştir. Yalnızca hava çıkış sıcaklığının canlı yoğurt bakterisi kalım oranı, renk değişimi, nem içeriği ve duyuusal kalite üzerinde önemli etkiye sahip olduğu ve yoğurt tozu su aktivitesi değerlerinin tüm püskürtmeli kurutucu işlem koşullarından etkilendiği, yoğurt tozu titre edilebilir asitlik (%laktik asit) ve pH değerlerinin ise hava giriş ve hava çıkış sıcaklığından etkilendiği belirlenmiştir. Yoğurt tozu üretimi için en uygun hava giriş sıcaklığının 171°C, hava çıkış sıcaklığının 60.5°C ve besleme sıcaklığının 15°C olarak tespit edilmiştir (Koç, 2008).

SONUÇ

Püskürtmeli kurutma prosesi, kurutma teknolojisi içinde diğer yöntemlere göre parametrelerin değiştirilmesiyle istenilen kriterde ürün elde etme olanağı tanır. Bazı durumlarda ise fazla deneme yanılma yöntemine bağlı kalınması toz ürün verimi açısından dezavantaj etki gösterebilir. Püskürtmeli kurutma sıvı veya süspansiyon halinde olan ya da çözelti haline getirilebilecek gıdalarda, çözeltinin 150-200°C sıcak hava içerisine atomize edilmesiyle istenilen partikül boyutunda toz ürün elde edilmesini sağlayan prosestir. Püskürtmeli kurutmada süt tozu, yoğurt tozu, peynir tozu gibi protein oranı yüksek gıdalarda tek başına verim sağlanırken, meyve tozu ve yağ tozu üretimlerinde prosese yapışma gibi problemlerden dolayı toz verimi düşük olmaktadır. Bu nedenle enkapsülasyon teknolojisiyle birlikte kullanılması gıda sektörü açısından en iyi yöntemlerden biridir. Mikroenkapsülasyon teknolojisi bir taşıyıcı malzemenin (maltodekstrin, arap zımkı) aktif maddeyi çevreleyerek hem üretim sırasında hem de sonrasında stabil fonksiyonel bir toz ürün elde etmemizi sağlar. Püskürtmeli kurutma işleminin optimum şartlarda gerçekteşmesi için parametreler oldukça önemlidir. Daha iyi duyuusal ve besleyici özelliklere ve daha iyi

proses verimine sahip ürünler elde etmek için ürün özelliklerini etkileyen faktörlerin anlaşılması gerekmektedir. Bu teknikle ilgili daha fazla araştırma yapılması, püskürtmeli kurutmanın önemini ve verimliliğini muhtemelen daha da artıracaktır.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKLAR

Aljumaily AM., 2011. The effect of concentrated bone broth as a dietary supplementation on bone healing in rabbits. *Annals of the College of Medicine, Mosul*, 37(1): 42-47.

Abadio FDB, Domingues AM, Borges SV, Oliveira VM., 2004. Physical properties of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice—effect of malt dextrin concentration and atomization speed. *Journal of Food Engineering*, 64(3): 285-287.

Agnihotri N, Mishra R, Goda C, Arora M., 2012. Microencapsulation—A Novel Approach in Drug Delivery: A Review. *Indo Glob. J. Pharm. Sci.*, 2: 1–20.

Aguiar J, Estevinho BN, Santos L., 2016. Microencapsulation of natural antioxidants for food application—The specific case of coffee antioxidants—A review. *Trends in Food Science & Technology*, 58: 21-39.

Ahn JH, Kim YP, Lee YM, Seo EM, Lee KW, Kim HS., 2008. Optimization of microencapsulation of seed oil by response surface methodology. *Food Chem.*, 107: 98–105.

Alcântara MA, de Lima AEA, Braga ALM, Tonon RV, Galdeano MC, da Costa Mattos M, de Magalhães Cordeiro AMT., 2019. Influence of the emulsion homogenization method on the stability of chia oil microencapsulated by spray drying. *Powder Technology*, 354: 877-885.

Anandharamkrishnan C, Padma IS., 2015. *Spray drying techniques for food ingredient encapsulation*. Oxford: IFT Press/John Wiley & Sons.

Anonim., 2017. <https://www.tetrapak.com/tr>

Anonim., 2018. <http://bakon-process.com>

Anonim., 2018. <http://mivegida.com/>

Atak Z, Koç M, Kaymak-Ertekin F., 2017. Gıda endüstrisinde aroma mikroenkapsülasyonu. *Akademik Gıda*, 15(4): 416-425.

Atuonwu JC, Stapley AGF., 2017. Reducing energy consumption in spray drying by monodisperse droplet generation: Modelling and simulation. *Energy Procedia* 213: 235-242.

Ayar A., 2015. Süt tozu teknolojisi. <http://slideplayer.biz.tr/slide/9219736>

Bakry AM, Abbas S, Ali B, Majeed H, Abouelwafa MY, Mousa A, Liang L., 2016. Microencapsulation of oils: A comprehensive review of benefits, techniques, and applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(1): 143-182.

Bastioğlu AZ, Dirim SN, Ertekin FK., 2016. Moisture sorption isotherms of yogurt powder containing candied chestnut puree. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 4(8): 676-683.

Cano-Chauca M, Stringheta PC, Ramos AM, Cal-Vidal J., 2005. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6(4) : 420-428.

Capela P, Hay TKC, Shah NP., 2006. Effect of cryoprotectants, prebiotics and microencapsulation on survival of probiotic organisms in yoghurt and freeze-dried yoghurt. *Food Research International*, 39(2): 203-211.

Cappelle S., 2002. New flavoured improver for baking applications, United States patent application publication US 2002/0106439 A1. 8 August.

Castro-Albarrán J, Aguilar-Uscanga BR, Calon F, St-Amour I, Solís-Pacheco J, Saucier L, Ratti C., 2016. Spray and freeze drying of human milk on the retention of immunoglobulins (IgA, IgG, IgM). *Drying Technology*, 34(15): 1801-1809.

da Silva DF, Larsen FH, Hougaard AB, Ipsen R., 2017. The influence of raw material, added emulsifying salt and spray drying on cheese powder structure and hydration properties. *International Dairy Journal*, 74: 27-38.

Dinçel E., 2015. Kakao yağı enkapsülasyonunun çikolatada yağ kusmasına etkisinin incelenmesi (Doctoral dissertation, İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

Escuder-Vieco D, Espinosa-Martos I, Rodríguez JM, Fernández L, Pallás-Alonso CR., 2018. Effect of HTST and holder pasteurization on the concentration of immunoglobulins, growth factors, and hormones in donor human milk. *Frontiers in immunology*, 9, 2222.

Ezhilarasi PN, Karthik P, Chhanwal N, Anandharamakrishnan C., 2013. Nanoencapsulation techniques for food bioactive components: a review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(3): 628-647.

Fang Z, Bhandari B., 2012. Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice. *Food Research International*, 48(2): 478-483.

Fazaeli M, Emam-Djomeh Z, Ashtari AK, Omid M., 2012. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food and Bioprocess Technology*, 90(4): 667-675.

Feng T, Wang H, Wang K, Liu Y, Rong Z, Ye R, Sun M., 2018. Preparation and structural characterization of different amylose-flavor molecular inclusion complexes. *Starch-Stärke*, 70(1-2) : 1700101.

Fuciños C, Míguez M, Fuciños P, Pastrana LM, Rúa ML, Vicente AA., 2017. Creating functional nanostructures: Encapsulation of caffeine into α -lactalbumin nanotubes. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 40: 10-17.

Gaiani C, Scher J, Ehrhardt JJ, Linder M, Schuck P, Desobry S, Banon S., 2007. Relationships between dairy powder surface composition and wetting properties during storage: importance of residual lipids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(16) : 6561-6567.

Haluk E, Yeliz K, Orhan Ö., 2018. Production of bone broth powder with spray drying using three different carrier agents. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 38(6): 1273.

Ho TM, Chan S, Yago AJ, Shravya R, Bhandari BR, Bansal N., 2019. Changes in physicochemical properties of spray-dried camel milk powder over accelerated storage. *Food Chemistry*, 295, 224-233.

Hürdoğan E, Saltan GE, Çerçi KN, Osman KARA, Özalp C., 2018. Farklı yapıya sahip seralar için ısıtma ihtiyacının belirlenmesi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3(2): 54-59.

Jafari SM, Assadpoor E, He Y, Bhandari B., 2008. Encapsulation efficiency of food flavours and oils during spray drying. *Dry. Technol.*, 26: 816-835.

Jedlińska A, Wiktor A, Witrowa-Rajchert D, Derewiaka D, Wołosiak R, Matwijczuk A, Samborska K., 2021. Quality assessment of honey powders obtained by high-and low-temperature spray drying. *Applied Sciences*, 11(1): 224.

Kara Y., 2017. Püskürtmeli kurutma yöntemi ile kemik suyu tozu üretimi. Master tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Karel M, Fennema OR, Lund DB., 1995. Physical principles of food preservation. New York: Marcel Dekker Inc.

Killeen MJ., 2000. Spray drying and spray congealing of pharmaceuticals. Encyclopedia of Pharmaceutical Technology. Edited by Swarbrick J. Boylan JC.

Koç B, Sakin-Yılmaz M, Kaymak-Ertekin F, Balkır P., 2014. Physical properties of yoghurt powder produced by spray drying. Journal of Food Science and Technology, 51(7): 1377-1383.

Koç B., 2008. Püskürtmeli kurutma yöntemi ile yoğurt tozu üretim koşullarının optimizasyonu. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İzmir, Türkiye.

Koç M, Güngör Ö, Zungur A, Yalçın B, Selek İ, Ertekin FK, Ötles S., 2015. Microencapsulation of extra virgin olive oil by spray drying: effect of wall materials composition, process conditions, and emulsification method. Food and Bioprocess Technology, 8(2): 301-318.

Koç M., 2009. Pastörize sıvı yumurtanın püskürtmeli kurutma yöntemi ile optimum kurutma koşullarının belirlenmesi ve mikroenkapsülasyonu. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İzmir, Türkiye.

Kolanowski W, Ziolkowski M, Weißbrodt J, Kunz B, Laufenberg G., 2006. Microencapsulation of fish oil by spray drying-impact on oxidative stability. Part 1. Eur. Food Res. Technol., 222: 336-342.

Kosasih L, Bhandari B, Prakash S, Bansal N, Gaiani C., 2016. Effect of whole milk concentrate carbonation on functional, physicochemical and structural properties of the resultant spray dried powder during storage. Journal of Food Engineering, 179: 68-77.

- Kumar P, Mishra HN., 2004. Yoghurt powder: review of process technology, storage and utilization. *Food and Bioproducts Processing*, 82(2): 133-142.
- Le TT, Bhandari B, Deeth HC., 2011. Chemical and physical changes in milk protein concentrate (MPC80) powder during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(10): 5465-5473.
- Lindeløv JS, Wahlberg M., 2009. Spray drying for processing of nanomaterials. *Journal of Physics Conference Series*, 170.
- Lozano-Vazquez G, Lobato-Calleros C, Escalona-Buendia H, Chavez G, Alvarez-Ramirez J, Vernon-Carter EJ., 2015. Effect of the weight ratio of alginate-modified tapioca starch on the physicochemical properties and release kinetics of chlorogenic acid containing beads. *Food Hydrocolloids*, 48, 301-311.
- Madene A, Jacquot M, Scher J, Desobry S., 2006. Flavour encapsulation and controlled release—a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 41(1): 1-21.
- Mahdavi SA, Jafari SM, Ghorbani M, Assadpoor E., 2014. Spray-drying microencapsulation of anthocyanins by natural biopolymers: A review. *Drying Technology*, 32, 509–518. <https://doi.org/10.1080/07373937.2013.839562>.
- Masters K., 1991. *Spray drying handbook*, 5th edition. New York: John Wiley & Sons.
- Nabhan MA, Girardet JM, Campagna S, Gaillard JL, Le Roux, Y., 2004. Isolation and characterization of copolymers of β -lactoglobulin, α -lactalbumin, κ -casein, and α S1-casein generated by pressurization and thermal treatment of raw milk. *Journal of Dairy Science*, 87(11): 3614-3622.
- OdabaŖ MTT., 2017. Puskürtmeli kurutma. *Gıda Analiz Teknikleri*. <https://docplayer.biz.tr/110969897-Puskurtmeli-kurutma-puskurtmeli-kurutma-gida-analiz-teknikleri-bahar.html>
- Özbyay Doğu S, Sariçoban C., 2015. Et kurutma teknolojisi ve dünyada tüketilen bazı kurutulmuş et ürünleri. *Journal of Food and Health Science*, 1(3): 109-123.

- Özdemir E., 2009. Püskürtmeli kurutucuda disodyum oktaborat tetrahidrat üretimi ve modelleme çalışmaları. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul.
- Phisut N., 2012. Spray drying technique of fruit juice powder: some factors influencing the properties of product. *International Food Research Journal*, 19(4): 1297.
- Prost C, Poinot P, Arvisenet G, Rannou C., 2020. Bread aroma. *Breadmaking*, 467-515.
- Rascón-Díaz MP, Tejero JM, Mendoza-Garcia PG, Garcia HS, Salgado-Cervantes MA., 2012. Spray drying yogurt incorporating hydrocolloids: Structural analysis, acetaldehyde content, viable bacteria, and rheological properties. *Food and Bioprocess Technology*, 5(2): 560-567.
- Samborska K, Bonikowski R, Kalemba D, Barańska A, Jedlińska A, Edris A., 2021. Volatile aroma compounds of sugarcane molasses as affected by spray drying at low and high temperature. *LWT*, 145, 111288.
- Selvamuthukumaran M. (Ed.), 2019. *Handbook on Spray Drying Applications for Food Industries*. CRC Press.
- Tamime AY, Robinson RK., 2007. Traditional and recent developments in yoghurt production and related products. *Tamime and Robinson's yoghurt: Science and Technology*, (Ed. 3), 348-467.
- Tehrany EA, Sonneveld K., 2010. *Packaging and the shelf life of milk powders. Food packaging and shelf life, a practical guide*. CRC Press, Boca Raton, London.
- Thomas ME, Scher J, Desobry-Banon S, Desobry S., 2004. Milk powders ageing: effect on physical and functional properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(5): 297-322.
- Turchiuli C, Fuchs M, Bohin M, Cuvelier ME, Ordonnaud C, Peyrat-Maillard MN, Dumoulin E., 2005. Oil encapsulation by spray drying and fluidised bed agglomeration. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6(1): 29-35.

- Wisniewski R. 2015. Spray drying technology review. Proceedings of the 45th International Conference on Environmental Systems ICES-2015-094, Bellevue, Washington: 1–46.
- Wong TW, John P., 2016. Advances in spray drying technology for nanoparticle formation. In Handbook of nanoparticles, ed. M. Aliofkhazraei, 329–46. Cham: Springer.
- Zhang L, Boeren S, Smits M, van Hooijdonk T, Vervoort J, Hettinga K., 2016. Proteomic study on the stability of proteins in bovine, camel, and caprine milk sera after processing. Food Research International, 82: 104-111.
- Zhang J, Zhang C, Chen X, Quek SY., 2020. Effect of spray drying on phenolic compounds of cranberry juice and their stability during storage. Journal of Food Engineering, 269, 109744.
- Zheng X, Wu F, Hong Y, Shen L, Lin X, Feng Y., 2018. Developments in taste-masking techniques for traditional Chinese medicines. Pharmaceutics, 10: 157.
- Zbicinski I., 2017. Modeling and scaling up of industrial spray dryers: A review. Journal of Chemical Engineering of Japan, 50: 757–767.