



## Şeker İçeriği Yüksek Gıdaların Püskürtülerek Kurutulması: Ürün Kazanımı ve Toz Ürün Özelliklerinin Geliştirilmesi

Mehmet Koç<sup>1\*</sup>, Figen Kaymak Ertekin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 09010 Aydın, Türkiye

<sup>2</sup>Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 35100 İzmir, Türkiye

### MAKALE BİLGİSİ

Geliş 11 Kasım 2015  
Kabul 21 Ocak 2016  
Çevrimiçi baskı, ISSN: 2148-127X

#### Anahtar Kelimeler:

Toz gıda  
Püskürtmeli kurutma  
Camsı geçiş sıcaklığı  
Yapışkanlık  
Bal tozu  
Meyve suyu tozu

### ÖZET

Gıda endüstrisinde toz formda ürünlerin üretilmesinde kurutma yöntemi olarak en çok tercih edilen püskürtmeli kurutma, şeker içeriği yüksek sıvı gıdaların toz forma dönüştürülmesinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Şeker içeriği yüksek ürünlerin püskürtmeli kurutucuda kurutulması esnasında ve/veya sonrasında, yapıda doğal olarak yer alan düşük molekül ağırlıklı mono sakkaritlerden dolayı yapışma, yüksek nem çekişi (higroskopisi) ve düşük çözünürlük gibi istenmeyen durumlar ortaya çıkmaktadır. Bu sorunların temelini şekerlerin düşük camsı geçiş sıcaklığı oluşturmaktadır. Bu derlemede, şeker içeriği yüksek ürünlerin püskürtmeli kurutma yöntemi ile kurutulmasında ortaya çıkan sorunlar, alınması gereken önlemler ve şeker içeriği yüksek bal ve meyve sularının püskürtmeli kurutma yöntemi ile kurutulmasına yönelik çalışmalar hakkında bilgi sunulmaktadır.

#### \*Sorumlu Yazar:

E-mail: mehmet197@gmail.com

Turkish Journal Of Agriculture - Food Science And Technology, 4(5): 336-344, 2016

## Spray Drying of High Sugar Content Foods: Improving of Product Yield and Powder Properties

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 11 November 2015  
Accepted 21 January 2016  
Available online, ISSN: 2148-127X

#### Keywords:

Powdered food  
Spray drying  
Glass transition temperature  
Stickiness  
Honey powder  
Fruit juice powder

### ABSTRACT

Spray drying is the most preferred drying method to produce powdered food in the food industry and it is also widely used to convert sugar-rich liquid foods to a powder form. During and/or after spray drying process of sugar-rich products, undesirable situation was appeared such as stickiness, high moisture affinity (hygroscopicity) and low solubility due to low molecular weight monosaccharides that found naturally in the structure. The basis of these problems was formed by low glass transition temperature of sugar-rich products. This review gives information about the difficulties in drying of sugar-rich products via spray dryer, actions need to be taken against these difficulties and drying of sugar-rich honey and fruit juices with spray drying method.

#### \*Corresponding Author:

E-mail: mehmet197@gmail.com

## Giriş

Sağlıklı beslenme ve hazır gıda kavramlarının paralel yönlü gelişimi sonucunda değişen tüketici isteklerini de göz önünde bulundurarak, gıda sanayi son yıllarda toz hazır gıda ürünleri üzerine ciddi atılımlar gerçekleştirmiştir. Hızlı yaşam şartlarından ötürü tüketiciler, marketten satın aldıkları tek bir üründen bütün gereksinimlerini karşılamasını beklerken, üreticiler ise ürettikleri ürünlerin daha uzun süre bozulmadan rafta kalmasını ve nakliye giderlerinin azalmasını istemektedirler. Bu sebep ile gıda üreticileri ve tüketicileri özellikle toz karışımlara yönelmektedir.

Gıda sanayinde kullanılan çoğu bileşenin toz formunda olması sebebiyle, toz teknolojisinin önemi gıda endüstrisi ve gıda üreticileri açısından daha da artmaktadır. Gıdaların toz formda üretilmelerinin başlıca sebepleri ise su içeriğini düşürerek raf ömrünü arttırmak, taşıma maliyetini düşürmek ve kullanım kolaylığı sağlamaktır. Toz gıdalar genellikle, kurutma işlemleri sonucunda elde edilmektedir. Kurutma yöntemleri arasında püskürtmeli kurutma teknolojisi, sıvı akışkan formdaki gıda maddelerinin toz forma dönüştürülmesinde, ürün verimliliği ve düşük işletme maliyetleri açısından diğer kurutma yöntemlerine kıyasla öne çıkmaktadır.

Fakat toz gıdaların üretimi gıdanın yapısında yer alan şeker, yağ ve proteinden ötürü ön işleme teknolojilerine gereksinim duymaktadır. Özellikle şeker içeriği yüksek ürünlerin kurutulmasında, kurutma işlemi esnasında ve/veya sonrasında yapışma, yüksek nem çekişi (higroskopik) ve düşük çözünürlük gibi bazı sorunlar ortaya çıkmaktadır.

Bu derlemede şeker içeriği yüksek ürünlerin kurutulmasında ortaya çıkan sorunlar, çözüm önerileri ve şeker içeriği yüksek bal ve meyve sularının püskürtmeli kurutma yöntemi ile toz forma dönüştürülmesi aşamasında uygulanan işlem parametreleri ve elde edilen ürün özellikleri hakkında bilgi sunulmaktadır.

## Püskürtmeli Kurutma Yöntemi

Püskürtmek kurutma işleminin temel prensibi; sıvı akışkan formdaki ürünün kurutma hücreindeki sıcak hava içerisinde döner atomizör veya nozul yardımı ile çok küçük damlacıklar halinde beslenerek, geniş bir yüzey kazandırılması ve böylece hızlı bir evaporasyon işleminin sağlanmasıdır. Püskürtmeli kurutucu işlem basamakları; (1) beslemenin atomizasyonu ile damlacık oluşumu, (2) damlacıkların sıcak kurutma havası ile teması, (3) damlacıklardan nem uzaklaşması, (4) toz ürünün hava akımından ayrılması şeklinde gerçekleşmektedir.

Püskürtmeli kurutucuda atomizör veya nozul tarafından oluşturulan damlacıklar sıcak hava akımı ile temas eder etmez damlacık yüzeyinde buharlaşma olayı başlar. Bu anda damlacık yüzeyindeki sıcaklık yaş termometre sıcaklığındadır. Damlacıktan nemin uzaklaştırılması, yüzeyde oluşan kabuktan nemin difüzyon hızına bağlı olup zamanla oluşan kabuk kalınlaşarak nem difüzyonu da azalır ve kuruyan tanecik çok kısa sürede (1-10 saniye) havanın çıkış sıcaklığına ulaşmadan kurutma kabini terk eder (Foust ve ark., 1976; Geankoplis, 1983). Dolayısıyla ürün çıkış sıcaklığı hava çıkış sıcaklığının altında kalmaktadır. Püskürtmeli

kurutma işleminde son ürünün kalitesini ve kurutma işleminin etkinliğini doğrudan etkileyen ve sıvı akışkan ürünün kurutma ortamında küçük damlacıklar şeklinde dağılmasını sağlayan atomizasyon işleminde döner tip atomizörler veya nozullar kullanılmaktadır. Döner tip atomizörler kanallı dişli ve kanalsız disk şeklinde ikiye ayrılırken, nozul tip atomizörler ise atomizasyon işleminde uygulanan kuvvet tipine bağlı olarak basınçlı, sonik ve pnömatik olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Püskürtmeli kurutucuda kullanılacak olan döner veya nozul tipi atomizör seçerken besleme kapasitesi, beslemenin fiziksel özellikleri (yoğunluk, viskozite, vb.), partikül boyutu, partikül boyut dağılımı (homojenlik), işlem esnekliği, kurutuma odasının dizaynı dikkate alınmalıdır.

Son yüzyılda püskürtmeli kurutma teknolojisi derinlemesine incelenmiştir. Literatürde yer alan bir çok çalışmada (de Vilder ve ark., 1976; Alexander ve King, 1985; Rosenberg ve ark., 1988; Wallack ve ark., 1990; Twomey ve ark., 2000; Kelly ve ark., 2002; Schuck, 2002) da belirtildiği üzere püskürtmeli kurutucu işlem parametreleri (besleme hızı, besleme konsantrasyonu, sıcaklık, yüzey gerilimi) son ürünün fiziksel özellikleri üzerine doğrudan etkilidir. Masters (1972) sabit atomizasyon basıncında ve kurutma koşullarında besleme hızının ve konsantrasyonun yükselmesiyle elde edilen son ürünün partikül boyutunun artacağını belirtmiştir. Ayrıca beslemenin yüzey geriliminin artmasıyla da son ürünün partikül boyutu artmaktadır. Püskürtmeli kurutucuda diğer önemli bir işlem parametresi olan hava giriş sıcaklığının yükselmesi ise partikül boyutunu artırırken, yağın yoğunluğunun azalmasına neden olmaktadır. Hava hızının yükselmesinin ise yağın yoğunluğu üzerine sabit bir etkisi bulunmazken, ısı ve kütle transfer hızını artırdığı için partikül boyutunu etkilemektedir. Besleme çözeltisinin pompalama hızı ve kuru madde içeriği yükseldiği takdirde ise elde edilen toz ürünün parçacık boyutunun arttığı bilinmektedir (İlçali ve Aslan, 1993).

Püskürtmeli kurutma yöntemi süt (Kim ve ark., 2009), peynir altı suyu (Tunick, 2008), yoğurt (Koç ve ark., 2010), dondurma karışımlarında kullanılmak üzere laktoz (Schmitt ve ark., 1999), yumurta (Koç ve ark., 2011), kahve (Mussatto ve ark., 2011), çay (Şahin Nadeem ve ark., 2011), şeker içeriği yüksek ürünler olarak bal (Samborska ve ark., 2015; Shi ve ark., 2013; Boonyai ve ark., 2006; Nurhadi ve ark., 2012) ve meyve suları (Cano-Chauca ve ark., 2005; Chegini ve Ghobadian 2005; Goula ve Adamopoulos 2005; Grabowski ve ark., 2006; Quek ve ark., 2007; Jittanit ve ark., 2010) gibi bir çok gıda maddesinin kurutulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

## Şeker İçeriği Yüksek Gıdaların Kurutulması

Şeker içeriği yüksek ürünlerin kurutulmasında, kurutma işlemi esnasında ve/veya sonrasında yapışma, yüksek nem çekişi (higroskopik) ve düşük çözünürlük gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bhandari ve ark. (1997) şeker ve asit içeriği yüksek ürünlerin yapışkanlık sorununun nedenini; yapıda yer alan düşük molekül ağırlığına sahip fruktoz, glikoz ve sakkaroz gibi

şekerlerden ve sitrik, malik, tartarik ve glukonik asit gibi organik asitlerden kaynaklandığını bildirmişlerdir. Bu bileşenlerin ortak özelliği ise camsı geçiş sıcaklığı ( $T_g$ ) değerlerinin, kurutma işlemleri için oldukça düşük olmasıdır. Camsı geçiş sıcaklığı şeker içeriği yüksek gıda ürünlerinin kurutulmasında belki de tek önemli parametre olarak görülmektedir (Imtiaz-UI-Islam ve Langrish, 2009). Camsı geçiş sıcaklığında moleküler hareketliliğin artması ve viskozitenin azalması nedeniyle yapıda çökme ve yapışma ortaya çıkmaktadır. Camsı geçiş sıcaklığı amorf bir yapının camsı halden lastiksi faza veya lastiksi fazdan camsı hale geçtiği sıcaklık olarak tanımlanmakta ve gıdaların kimyasal bileşimleri ve nem içerikleri camsı geçiş sıcaklığını belirlemektedir (Righetto ve Netto 2005). Saf suyun camsı geçiş sıcaklığı yaklaşık olarak  $-138^{\circ}\text{C}$  civarında olup, gıdaların nem içeriklerinin yükselmesi camsı geçiş sıcaklık değerlerinin azalmasına neden olmaktadır (Roos ve Karel, 1991; Slade ve ark., 1991; Biliaderis ve ark., 1999; Tolstoguzov, 1999). Camsı geçiş sıcaklığı Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) gibi ısıl analiz cihazları yardımı ile ısıl kapasitedeki değişime göre veya Dinamik Mekaniksel Isıl Analizör (DMTA) veya Isıl Mekaniksel Analizör (TMA) gibi cihazlar ile mekaniksel özelliklerdeki değişimler baz alınarak ölçülebilir (Boonyai ve ark., 2006).

Şeker içeriği yüksek ürünlerin özellikle püskürtmeli kurutucuda yapışma sorunu olmaksızın kurutulabilmesi için hava çıkış sıcaklığı değerinin, ürünün camsı geçiş sıcaklığı değerinin maksimum  $20^{\circ}\text{C}$  üzerinde olması gerekmektedir. Bu sıcaklık yapışma sıcaklığı olarak adlandırılmaktadır (Bhandari ve Hartel, 2005).

Atomizasyon işlemi sonrasında 20 ile 150  $\mu\text{m}$  çapa sahip damlacık (Masters, 1972) halinde kurutma odasına beslenen çözelti, yüksek nem içeriğine sahip olmasına rağmen herhangi bir aglomerasyon (topaklaşma) olmaması için homojen ve etkin bir şekilde dağılmalıdır. Kurutma odasının alt kısımlarına doğru ilerledikçe damlacıklardan hızlı bir şekilde nem uzaklaşmakta ve damlacıkların yoğunluğu yükselmektedir. Bu aşamada partiküllerin yüzey sıcaklıkları camsı geçiş sıcaklıklarından yüksektir. Eğer partiküllerin yüzeyinde yapışma eğilimi yüksek şekerler bulunuyorsa bu durumda partiküller birbirlerine veya kurutma odası duvarına yapışmaktadır. Bu durumu ortadan kaldırmak için şeker içeriği yüksek ürünlerin kurutulmasında nişasta, maltodekstrin, gam arabik gibi yüksek camsı geçiş sıcaklığı değerlerine sahip taşıyıcı materyaller kullanılmalıdır.

Şeker içeriği yüksek gıdaların püskürtmeli kurutucuda kurutulmasında, taşıyıcı materyal kullanılmasının yanı sıra düşük hava çıkış sıcaklıklarında ( $60^{\circ}\text{C}$ ) çalışmakta (Hayashi, 1989) mümkündür. Fakat bu durum kurutma süresini uzatacağından ve püskürtmeli kurutucuların daha uzun bir kurutma kabineye sahip olmasını gerektirdiği için ticari olarak tercih edilmemektedir. Ayrıca kurutmanın son aşamasında sisteme kontrollü olarak soğuk soğuk hava beslenmesi ürünün yüzey sıcaklığını hızlı bir şekilde düşürerek, yapışmayı engellemektedir (Lazar ve ark., 1956). Bu uygulama da çok sık tercih edilmemektedir. Zira soğuk havanın bünyesinde barındırdığı nem ile toz ürün etkileşime geçmektedir. Kısmi kristalizasyon uygulaması ile de yapışma sorununun çözülebileceği literatürde (Masters, 1972) belirtilse de, meyve suyu ve

diğer şeker içeriği yüksek ürünlerin kurutulmasına yönelik herhangi bir uygulama bulunmamaktadır. Yapışma sorununun önlenmesinde kurutucu dizaynı ve işlem koşulları açısından belki de en çok tercih edilen yöntem kurutucu duvarlarının soğutulmasıdır (Bhandari ve ark., 1997). Fakat bu yöntemde bile aşılması gereken sorunlar bulunmaktadır. Kurutucu duvarının soğutulması esnasında sadece duvar soğumamakta ortam havasının sıcaklığı da düşerek nem içeriği artmaktadır.

#### *Balın Kurutulması*

Dünya genelinde yaklaşık olarak 68000 ton bal gıda üretimlerinde bileşen olarak kullanılmaktadır (Snowdon ve Oliver, 1995). Gıda endüstrisinde en sık kullanıldığı sektörler; fırıncılık, pastacılık, et ürünleri, içecek ve kuruyemiş sanayidir (Wilson ve Crane, 1976; Tuley, 1989). Bal, yapısındaki şekerler, aroma bileşenleri ve sahip olduğu asitlikten dolayı farklı türde gıda üretimlerinde bileşen olarak tercih edilmektedir. Örneğin bal, yüksek şeker içeriğinden ötürü tuzlanmış et ürünlerinin yüksek tuz tadını maskelemekte ve pişirme sırasında et ürünlerinin yüzeyinde arzu edilen karamelizasyonun gerçekleşmesine yardımcı olmaktadır (Wilson ve Crane, 1976). Tong ve ark. (2010)' ekmek üretiminde hamur hazırlama aşamasında bal kullanılmasının son ürünün kalite özelliklerini iyileştireceğini ve raf ömrünü uzatacağını bildirmişlerdir.

Balın gıda endüstrinde daha yaygın olarak kullanılmamasının başlıca nedeni yüksek viskozitesinin neden olduğu borularda akış zorluğu, yapışma ve temizlik sorunları gelmektedir (Cui ve ark., 2008; Shi ve ark., 2013; Samborska ve Czelejewska, 2014). Serbest akış özelliklerine sahip; taşınması ve temizliği kolay; depolama alanlarında daha az yer tutan toz formda bal sıvı bala göre iyi bir alternatiftir (Cui ve ark., 2008; Umesh Hebbar ve ark., 2008; Sahu, 2008; Samborska ve Bienkowska, 2013). Bal tozu doğrudan son tüketiciye sunulabileceği gibi yoğurt, alkollü ve alkolsüz içecek, soslar, yenilebilir kaplamalar, kuru yemişler, sağlıklı gıdalar veya kozmetik ürünlere bileşen olarak ilave edilebilir. Samborska ve ark. (2015) kurutulmuş balın kek ve ekmeklere bileşen olarak ilave edilmesi durumunda son ürünün lezzeti, rengi, aroması ve tekstürünün gelişeceğini ve bu tarzda ürünlerin tüketiciler tarafından daha çekici bulunacaklarını belirtmişlerdir. Ram (2011), bal tozunun tatlı ekmek yapımında sakkarozun yerine kullanılabileceğini rapor etmiştir. Antony ve ark. (2006), pişirme işlemi öncesi hindi göğüs etlerinin bal tozu ile muamele edilmesi durumunda, etlerin oksidatif stabilitenin iyileştiğini bulmuşlardır. Tong ve ark. (2010) ekmek üretimi için hamur hazırlama aşamasında %5-15 oranında bal tozu kullanmışlar ve hazırlanan hamurların reolojisini ve üretilen ekmeklerin duysal beğenileri ve tekstürel özelliklerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, %10'a kadar bal tozu ilavesinin kontrol örneğine göre hamurun reolojisini geliştirdiğini, ekmeklerin duysal ve tekstürel özelliklerinin geliştiğini bulmuşlardır.

Fakat bal gibi şeker içeriği yüksek ürünler kurutma işlemi esnasında düşük su içeriklerinde bile şurup veya ağdamsı halde kalmaktadır (Tonon ve ark., 2009). Kurutma işlemi esnasında arzu edilmeyen bu durumu önlemek için yüksek camsı geçiş sıcaklığına sahip nişasta,

maltodekstrin, gam arabik gibi taşıyıcıların kullanılması gerekmektedir (Goula ve Adamopoulos, 2010).

Özellikle kurutma sırasındaki 60 ile 100°C (Bhandari ve ark., 1997) arasındaki yüksek sıcaklıklar, düşük camsı geçiş sıcaklığına sahip amorf yapıdaki materyallerin toz forma geçemeyerek, plastik fazda kalmasına ve partiküllerin birbirlerine ve kurutma odası duvarına veya kurutma kabineine yapışmasına neden olmaktadır (Truong ve ark., 2005; Shi ve ark., 2013).

Balın başlıca bileşimini fruktoz ve glikoz oluşturduğundan dolayı camsı geçiş sıcaklığı oldukça düşüktür. Bu durum balın püskürtmeli kurutucuda yapışma sorunu olmaksızın kurutulmasına engel oluşturmaktadır (Boonyai ve ark., 2006). Shi ve ark. (2013), sıvı balı taşıyıcı bir materyal olmaksızın püskürtmeli kurutucuya beslemişler ve kurutma işlemi sonunda bütün ürünün kurutucu duvarına yapıştığını ve hiç bir şekilde toz ürün elde edemediklerini belirtmişlerdir. Fakat taşıyıcı materyal olarak %60 maltodekstrin veya %30 peynir altı suyu protein izolatının kullanılması durumunda 150°C hava giriş sıcaklığı ve 85°C hava çıkış sıcaklığına sahip püskürtmeli kurutucuda toz bal üretimi gerçekleştirilmiştir.

Boonyai ve ark. (2006) balı püskürtmeli kurutucuda kurutabilmek için kuru bazda %50 maltodekstrin çözeltisi ile karıştırmışlardır. Çalışmada püskürtmeli kurutucu hava giriş sıcaklığı 150 ± 1°C ve hava çıkış sıcaklığı 65 ± 2°C'dir. Çalışma sonucunda püskürtmeli kurutma yöntemi ile elde edilen bal tozunun nem içeriğinin kuru bazda %2,68 camsı geçiş sıcaklığının ise 58,5°C olduğunu bulgulamışlardır.

Samborska ve Bieñkowska (2013), püskürtmeli kurutma yöntemi ile bal tozu üretiminde dekstrin ve maltodekstrini taşıyıcı materyal olarak kullanmışlardır. Sonuç olarak bal tozunun fizikokimyasal özellikleri açısından bal tozu üretimi için maltodekstrinin kullanımının daha uygun olduğunu bildirmişlerdir. Samborska ve ark. (2015) gerçekleştirmiş oldukları bir başka çalışmada bal tozu üretimi için taşıyıcı materyal olarak maltodekstrin ve gam arabik kullanılmasının son ürünün fiziksel özellikleri üzerine etkisini karşılaştırmışlardır. Gam arabik kullanılarak üretilen bal tozunu higroskopisi yüksek, akabilirliği ve rekonstitüsyon özellikleri zayıf olarak tanımlamışlardır. Samborska ve ark. (2015), bu çalışmada 180°C hava giriş sıcaklığı ve 80°C hava çıkış sıcaklığı işlem koşullarına sahip püskürtmeli kurutucuda bal tozu üretimi için taşıyıcı materyal olarak %50 oranında gam arabik kullanmışlar ve besleme çözeltisine %1 ve %2 oranında sodyum kazeinat ilavesinin bal tozu üretim verimi, akabilirliği, higroskopisi üzerine etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak protein ilavesinin bal tozu üretim verimini arttırdığı ve akabilirlik değerlerini iyileştirdiğini, fakat protein oranının yükselmesiyle bal tozunun daha da higroskopik bir hal aldığını belirtmişlerdir. Yüzeysel aktif bileşenler olan proteinler kurutma işlemi esnasında damlacığın yüzeyinde bir film oluşturmakta ve partiküllerin birbirlerine yapışmasına engel olmaktadır (Adhikari ve ark., 2009; Wang ve Langrish, 2010).

Takashi (1984) püskürtmeli kurutma yöntemi ile bal tozu üretimi gerçekleştirirken taşıyıcı materyal olarak mumsu nişasta kullanmıştır. Bal 1:2 ile 1:4 oranları arasında mumsu nişasta ile karıştırılmış ve karışım %20-

25 kuru madde içerecek şekilde sulandırılmıştır. Elde edilen sulu karışım püskürtmeli kurutucuda hava giriş sıcaklığı 140-150°C ve hava çıkış sıcaklığı 90-95°C kurutma koşullarında kurutulmuştur. Elde edilen son ürünün bal oranının en az %50 olduğu bildirilmiştir.

Nobuhiko ve ark. (1992) suda çözünebilir diyet lifleri ile balı karıştırarak hazırladıkları sulu karışımı 100-180°C hava giriş sıcaklığı ve 70-100°C hava çıkış sıcaklığı koşullarına sahip püskürtmeli kurutucuda kurutarak toz ürün elde etmişlerdir. Diyet lifleri kullanılarak elde edilen son ürünün fonksiyonel bir gıda olduğunu ileri sürmüşlerdir. Son ürün bal tozunun kuru maddesinde %23 oranında diyet lifi içerdiği rapor edilmiştir.

Yoshihide ve Hideaki (1993) bal tozu üretimi için geliştirdikleri proste antioksidan maddeler, taşıyıcı materyaller ve kısmi seyrelticiler kullanarak hazırladıkları bal karışımını püskürtmeli kurutucuda kurutmuşlardır. Ayrıca çalışma kapsamında besleme çözeltisinin pH'sını 6,5-7,5 arasında değiştirerek kurutma esnasında şekerli maddelerin termoplastik etkilerini azaltmaya çalışmışlardır. Püskürtmeli kurutma koşulları giriş 120-200°C ve çıkış 70-120°C aralığında değiştiği rapor edilmiştir. Son ürünün bal içeriğini ise %50 olarak belirlemişlerdir. Elde edilen bal tozunu ise higroskopisi düşük, aroma ve lezzeti iyi ve raf ömrü uzun olarak tanımlamışlardır. Ancak besleme çözeltinin düşük KM içeriğinin (%25), kurutma sırasında yüksek enerji tüketimi gerektirdiğini de belirtmişlerdir.

Hebbar ve ark. (2002) bal tozu üretimi için belirlenen diğer kurutma yöntemlerinin aksine daha ılımlı koşullarda (hava giriş sıcaklığı 115-125°C; hava çıkış sıcaklığı 80-85°C) çalışmışlardır. Bu koşullar altında üretilen bal tozunun bal içeriğini ~52%, aromasının karakteristik bal olduğunu, renginin sarı ve toz akabilirliğinin iyi olduğunu belirtmişlerdir. Taşıyıcı materyal olarak dekstrin, maltoz kullanmışlardır.

Samborska ve Czelejewska (2014), balın püskürtmeli kurutma yöntemi ile toz forma dönüştürülmesi sırasında sıvı balın diastaz sayısı ile bal tozunun diastaz sayısının aynı olduğunu, kurutma işleminin balın diastaz sayısını düşürmediğini bulgulamışlardır.

Koç (2015) çam balını püskürtmeli ve dondurarak kurutma yöntemlerini kullanarak toz forma dönüştürmüştür. Püskürtmeli kurutma yöntemi ile elde edilen bal tozunun camsı geçiş sıcaklığının dondurarak kurutma yöntemi ile elde edilen örneğe kıyasla daha yüksek olduğunu ve bu durumun bal tozunun raf ömrüne etki edeceğini bildirmiştir.

Püskürtmeli kurutmanın yanı sıra literatürde kurutulmuş bal üretimi için vakum ve mikrodalga kurutma teknikleri de kullanılmaktadır. Cui ve ark. (2008), yüksek kalitede kurutulmuş bal üretimi için yaklaşık olarak 10 dakika içerisinde %2,5 nem içeriğine ulaşılabildiğini belirtmiştir. Yalnız çalışma kapsamında kurutulmuş balın şeker ve aroma içeriği gibi kimyasal özellikleri incelenirken, kurutulmuş ürünün fiziksel özellikleri hakkında bilgiye yer verilmemiştir. Kurutulmuş balın şeker ve aroma bileşimi uygulanan vakum ve kurutma haznesindeki balın kalınlığından etkilenmektedir. Nurhadi ve ark. (2012) bal tozu üretimi için vakum ile püskürtmeli kurutma tekniğini karşılaştırmıştır. Sonuç olarak vakum kurutma tekniğinin üretim verimi ve son ürünün fiziksel ve kimyasal

özellikleri açısından daha iyi olduğunu bildirmişlerdir. Vakum kurutma işlemi esnasında uygulanan sıcaklığın düşük olması bal tozunun kalitesini iyileştirirken, hareketsiz ve durağan koşullarda kurutma işleminden dolayı da ürün kaybı minimum düzeyde kalmakta ve üretim verimi yükselmektedir.

#### *Meyve Sularının Kurutulması*

Meyvelerin yapısında yüksek oranda yer alan su nedeniyle bu ürünlerin su aktivitesi oldukça yüksektir. Su aktivitesinin yüksek olması, meyvelerin yapısında enzim aktivitesinin yükselmesine ve mikroorganizma gelişimine uygun ortam sağlamasına neden olmaktadır. Su içeriğinin düşürülerek su aktivitesinin azaltılmasıyla birlikte bu tip ürünlerin stabilitesi artmaktadır. Ayrıca meyvelerin çoğu iklimsel koşullara bağlı olarak üretilmekte ve hasat edildikten sonra depolama koşullarına da bağlı olarak çok kısa raf ömrüne sahip olmaktadır. Daha önce de belirtildiği üzere kurutma teknolojisi su içeriğini ve su aktivitesini düşürerek gıdaların korunmasında antik çağlardan beri uygulanmaktadır. Kurutma teknolojileri içerisinde püskürtmeli kurutma yöntemi, meyve suyu tozu üretiminde en çok kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir (Phisut, 2012).

Meyveler toz forma dönüştürüldüklerinde ise; muhafaza, taşıma ve depolama açısından kolay kullanım imkanı sağlamaktadırlar. Su içeriklerinin ve su aktivitesi değerlerinin düşmesiyle birlikte meyvelerin raf ömrü uzamakta, bunun yanında bileşen kayıpları önemli ölçüde azalmaktadır. Ayrıca, meyve suyu tozlarının stabil ve doğal yapıda olmaları nedeniyle, bir çok gıda ve eczacılık ürünlerinde lezzet ve boya maddesi olarak kullanılabilir (Shrestha ve ark., 2007). Mani ve ark. (2002) %4'den daha düşük nem içeriğine sahip meyve suyu tozlarının şekerleme, toffee, yumuşak şeker ve akide tipi sert şeker üretiminde kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Meyve sularının içerdikleri sakkaroz, glikoz ve fruktoz gibi düşük moleküllü şekerler püskürtmeli kurutma işlemi sırasında yapışma sorununa sebep olmaktadır. Yapışkanlık probleminin birincil nedeni, meyvelerin yapısında doğal olarak yer alan şekerlerin düşük camsı geçiş sıcaklığından kaynaklanmakta olup; camsı geçiş sıcaklığının düşmesiyle birlikte üründe yapışkanlık artmaktadır (Vega ve ark., 2005). Bunun yanı sıra düşük molekül ağırlıklı şekerlerin kimyasından kaynaklanan yüksek higroskopisite nedeniyle de yapışkanlık sorunu ortaya çıkmaktadır (Adhikari ve ark., 2007).

Yapışkanlık iki farklı mekanizma üzerinde yürümekte olup, adhezyon ve kohezyon olarak isimlendirilmektedir. Adhezyon partiküllerin birbirlerine yapışmasını ifade ederken, kohezyon ise partiküllerin kurutucu duvarına yapışmasını ifade etmektedir. Şeker içeriği yüksek ürünlerde ortaya çıkan bu yapışkanlık sorunu sonucunda (Truong ve ark., 2005) toz ürün verimi düşmekte, ısıl bozunma gerçekleşmekte, elde edilen ürünün akabilirliğini olumsuz etkileyen partikül kümeleri oluşmaktadır.

Meyve suyu tozlarının kalitesi (1) higroskopisite, (2) kekleşme derecesi, (3) akabilirlik (Pisecky, 1985), (4) yapışma sıcaklığı (Lazar ve ark., 1956) ve (5) renk özellikleri açısından taze meyve suyuna benzerliği

(Ranganna, 1997) bakımından incelenmelidir. Yüksek higroskopisiteye sahip bir meyve suyu tozu depolama ortamındaki relatif rutubetten daha çok etkilenerek ve ürünün fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri değişecektir. Kekleşme derecesi ve akabilirlik özelliği ise toz ürünün üretim alanlarında kullanılabilirliğini ve ambalaj içerisinde ise son tüketici tarafında kabul edilebilirliğini büyük ölçüde belirleyecektir. Yapışma sıcaklığı ise özellikle kurutma işlemi aşamasında kullanılması gereken taşıyıcı materyalin miktarını ve işlem koşullarını belirleyecektir. Meyve suyu tozlarının rekonstite edilmesinden sonra elde edilecek olan sulu çözeltinin renginin taze meyve suyuna benzerliği ne kadar fazla ise tüketiciler tarafından kabul edilebilirliği o kadar yüksek olacaktır.

Yapışkanlık sorunu olmaksızın püskürtmeli kurutma yöntemi ile meyve suyu tozu üretmek için camsı geçiş sıcaklığı yüksek maltodekstrin ve gam arabik en sık tercih edilen taşıyıcı materyallerdir (Cano-Chuca ve ark., 2005; Gabas ve ark., 2007; Righetto ve Netto, 2005). Maltodekstrinin taşıyıcı materyal olarak tercih edilmesinde birincil sebep her ne kadar camsı geçiş sıcaklığının yüksek olması olsa da, yüksek oranlarda kullanıldığında besleme çözeltisinin viskozitesini yükseltmemekte ve elde edilen son ürünün lezzetine çok az etki etmektedir. Maltodekstrinin camsı geçiş sıcaklığı yapıda yer alan dekstroz miktarına göre değişim göstermektedir. Dekstroz eşdeğerliğinin yükselmesiyle birlikte maltodekstrinin camsı geçiş sıcaklığı azalmaktadır. Ayrıca maltodekstrinin nem içeriğinin artması da camsı geçiş sıcaklığını düşürmektedir (Avaltroni ve ark., 2004). Yüksek molekül ağırlığına ve camsı geçiş sıcaklığına sahip olan gam arabik ise yüksek çözünürlüğe ve sulu çözeltilerde düşük viskoziteye sahip olması nedeniyle şeker içeriği yüksek ürünlerin kurutulmasında sıkça kullanılmaktadır (Rodriguez-Hernandez ve ark., 2005).

Jittanit ve ark. (2010) Tayland için ihracat değeri oldukça yüksek olan ananasın, toz forma dönüştürülmesi ile oda koşullarında rahatlıkla depolanabileceğini, gıda proseslerinde kullanım kolaylığı sağlayacağını ve düşük taşıma giderlerine sahip olacağını bildirmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar ananas suyu tozunun çözünebilir içecek olarak tüketilebileceğinin yanı sıra aroma sağlayıcı madde olarak da kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Ananas suyu, birçok meyve suyu için de geçerli olan yüksek şeker içeriği nedeniyle doğrudan kurutulmamaktadır. Farklı püskürtmeli kurutucu işlem koşullarının sonuç toz ürünün duysal kalitesi üzerine etkisini inceledikleri çalışmalarında, ananas suyunun camsı geçiş sıcaklığını yükseltmek için maltodekstrin (DE 10) kullanmışlardır. Hava giriş sıcaklığının 150°C ve besleme karışımı içerisindeki maltodekstrin oranının kuru temelde %35 olduğu koşullarda elde edilen ananas suyu tozunun en yüksek duysal beğeniye sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Cegini ve Ghobadian (2005) püskürtmeli kurutma yöntemi ile portakal suyu tozu üretiminde kurutucu işlem değişkenleri olan hava giriş sıcaklığı, besleme debisi ve atomizasyon hızının etkisini incelemişlerdir. Toplam şeker içeriği yaklaşık olarak %42-45 arasında değişen portakal suyunun toz forma dönüştürülebilmesi için taşıyıcı materyal olarak maltodekstrin ve metilselüloz kullanılmıştır. Farklı püskürtmeli kurutma işlem

koşullarında üretilen portakal suyu tozunun fiziksel özelliklerinden partikül büyüklüğü, ıslanabilirlik değeri ve çözünmeyen katı miktarı hava giriş sıcaklığının yükselmesiyle birlikte yükselirken, elde edilen portakal suyu tozunun yığın yoğunluğu ve nem içeriği azalmaktadır. Atomizasyon hızı da portakal suyu tozunun fiziksel özellikleri üzerine etkili olmuş ve atomizasyon hızının yükselmesiyle toz ürünün yığın yoğunluğu ve ıslanabilirlik değeri azalmıştır.

Hazır gıda ürünlerinin üretilmesinde bileşen olarak sıklıkla kullanılan domates tozu genellikle domates pulunun püskürtmeli kurutucuda kurutulması ile elde edilmektedir. Domates pulunun yapısında bulunan dekstroz ( $T_g=31^{\circ}\text{C}$ ) ve levuloz ( $T_g=5^{\circ}\text{C}$ ) gibi düşük molekül ağırlıklı şekerlerin düşük camsı geçiş sıcaklığı (Bhandari ve ark., 1997), püskürtmeli kurutucuda kurutulması esnasında sıcaklığın da etkisiyle ürünün yumuşamasına ve yapışmasına neden olmaktadır (Goula ve ark., 2004). Goula ve Adamopoulos (2008) püskürtmeli kurutma yöntemi ile domates tozu üretiminde taşıyıcı materyal olarak kullanılan maltodekstrinin dekstroz eşdeğerliğinin (DE) etkisini araştırdıkları çalışmalarında yüksek DE'ye sahip maltodekstrin ile kurutulan domates tozunun diğer ürünlere göre daha yüksek nem içeriğine sahip olduğunu bildirmişlerdir. Yüksek DE'ye sahip maltodekstrinin kimyasal yapısında daha çok sayıda hidrofilik grup yer almakta ve kurutma sonucunda toz ürünün taşınması esnasında ortama havasından daha çok nem çekmektedir. Ayrıca yüksek DE'ye sahip maltodekstrin düşük camsı geçiş sıcaklığından dolayı partiküllerin birbirlerine yapışmasına ve son ürünün yığın yoğunluğunun yükselmesine neden olmaktadır.

Selvamuthukumaran ve Khanum (2014a) yalancı iğde meyve suyu tozu üretimi için püskürtmeli kurutma yöntemini kullanmışlardır. Kurutucu işlem koşulu olarak hava giriş sıcaklığının ve taşıyıcı materyal olarak seçilen maltodekstrinin besleme çözeltisi içerisindeki konsantrasyonunun CCRD (Central Composite Rotatable Design) deneme planı kullanılarak elde edilen toz ürünün nem içeriği, çözünübilirliği, C vitamini içeriği ve renk değişimi üzerine etkisini incelemişlerdir. Hava giriş sıcaklığı toz ürünün nem içeriği ve C vitamini içeriği üzerine etkiliyken, maltodekstrin konsantrasyonu ise toz ürünün çözünübilirlik ve renk değişimi değerleri üzerine etkilidir. Aynı araştırmacılar bir başka çalışmalarında (Selvamuthukumaran ve Khanum, 2014b) püskürtmeli kurutma yöntemi ile elde edilen yalancı iğde meyve suyu tozu örneklerinin fizikokimyasal, duyuusal ve mikrobiyolojik özelliklerinin vakum ve modifiye atmosferde paketlenme ile depolama süresince değişimini incelemişlerdir. Araştırmacılar vakum paketlenme yönteminin modifiye atmosferde paketlenme yöntemine göre daha uygun olduğunu ve ürünün oda sıcaklığında 8 ay süresince depolanabileceğini bildirmişlerdir.

Tonon ve ark. (2008) Amazonlarda yetişen ve Brezilya için ekonomik değeri oldukça yüksek olan açai meyvesinin suyunu püskürtmeli kurutma yöntemi ile kurutarak toz forma dönüştürmüşlerdir. Açai meyvesi yapısında yüksek antioksidan aktivite sağlayan yüksek miktarda antosiyanin ve fenolik maddeyi barındırmaktadır (Coisson ve ark.,2005; Schauss ve ark., 2006). Açai meyvesi de diğer birçok meyve gibi depolama ve

işlemeye karşı dayanıksızdır. Araştırmacılar bu gerekçeden yola çıkarak açai meyve suyunu, dekstroz eşdeğerliği 10 olan maltodekstrin ile karıştırarak farklı püskürtmeli kurutucu işlem koşullarında kurutmuşlar ve elde edilen toz ürünün fizikokimyasal özelliklerini incelemişlerdir. Sonuç olarak hava giriş sıcaklığının yükselmesi toz ürün üretim verimini ve higroskopisini yükseltirken, nem içeriği ve antosiyanin miktarının azalmasına sebep olmuştur. Besleme debisinin yükselmesi ise toz ürün üretim verimini olumsuz yönde etkilemiştir.

Cano-Chauca ve ark. (2005) mango suyunu üç farklı taşıyıcı materyal; maltodekstrin, gam arabik ve mumsu nişasta ve farklı oranlarda (%0-6) kristal selüloz ile karıştırarak püskürtmeli kurutucuda kurutmuşlardır. Çalışmada kullanılan taşıyıcı materyaller meyve suyu tozu üretiminde en sık tercih edilen materyallerdir. Püskürtmeli kurutucu işlem değişkenleri olan hava giriş sıcaklığı  $160^{\circ}\text{C}$ , hava çıkış sıcaklığı  $70-75^{\circ}\text{C}$  ve besleme debisi 10 ml/dak olacak şekilde bütün denemelerde sabit tutulmuştur. Araştırmacılar sonuç olarak mango suyu tozunun yapışkanlığının ve çözünübilirliğinin farklı oranlarda besleme çözeltisine eklenen kristal selüloz miktarından etkilendiğini bildirmişlerdir. Kristal selüloz miktarının artmasıyla birlikte mango suyu tozunun yapışkanlığı azalmakta, fakat çözünübilirliği de düşmektedir. Ayrıca farklı taşıyıcı materyaller kullanılarak elde edilen mango tozlarının en yüksek ve en düşük yapışkanlık değeri sırası ile maltodekstrin ve mumsu nişastada gözlenmiştir. Çözünübilirlik açısından ise maltodekstrin ile gam arabik benzerlik gösterse de mumsu nişasta oldukça düşük değerlere sahiptir. Daha önce de belirtildiği üzere meyve tozlarında çözünübilirlik kritik faktördür.

Vardin ve Yasar (2012) nar suyunun püskürtmeli kurutma yöntemi ile kurutulması toz forma dönüştürülmesinde taşıyıcı materyal olarak farklı DE değerlerine (7-18) sahip maltodekstrin kullanmışlar ve hava giriş sıcaklığının ve meyve suyu taşıyıcı materyal oranının toz ürünün çözünübilirliği, nem içeriği, antosiyanin miktarı, toz ürün üretim verimi ve yığın yoğunluğu üzerine etkisini araştırmışlardır. En yüksek üretim verimine eşit oranda nar suyu ve DE değeri 7 olan maltodekstrin içeren beslemenin kurutulması ile ulaşmışlardır. Araştırmacılar hava giriş sıcaklığının yükselmesiyle birlikte nar suyu tozunun çözünmesi için gerekli olan sürenin uzadığını, antosiyanin kaybının arttığını, yığın yoğunluğu ve nem içeriğinin azaldığını bildirmişlerdir.

Quek ve ark. (2007) püskürtmeli kurutma yöntemi ile karpuz suyu tozu üretimi için farklı hava giriş sıcaklıklarında ve maltodekstrin (DE 8-12) konsantrasyonlarında çalışmışlardır. Araştırmacılar ayrıca maltodekstrin ilave etmeksizin karpuz suyunu kurutmayı denemişler fakat elde edilen partiküllerin yapışkanlığı olduğunu ve kurutucu duvarında biriktiğini bildirmişlerdir. Besleme çözeltisi içerisinde maltodekstrin oranının azalmasıyla birlikte ürünün renginin daha çekici kırmızı renge ulaştığını ve toz ürün üretim veriminin daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Yüksek hava giriş sıcaklığının ise likopen ve  $\beta$ -karoten kaybını artırdığı ve daha açık renkli toz ürün üretilmesine neden olduğunu bulgulamışlardır.

## Sonuç

Püskürtmeli kurutucu akışkan formdaki gıda maddelerinin kurutularak toz forma dönüştürülmesinde sağlamış olduğu avantajlardan dolayı en çok tercih edilen kurutma yöntemlerinin başında gelmektedir. Püskürtmeli kurutma yöntemi ile elde edilen toz gıda ürünlerinin fiziksel özellikleri, toz ürünün üretim verimi kurutma esnasında uygulanan sıcaklığa, besleme debisine, beslemenin kuru madde içeriğine ve yüzey gerilimine bağlı olarak değişmektedir. Şeker içeriği yüksek ürünlerin kurutulmasında, kurutma işlemi esnasında ve/veya sonrasında yapışma, yüksek nem çekişi ve düşük çözünürlük gibi bazı sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu sorunların başlıca nedeni olarak şeker içeriği yüksek ürünlerin yapısında doğal olarak bulunan düşük molekül ağırlıklı şekerler olan glikoz ve fruktoz gelmektedir. Bu bileşenlerin camsı geçiş sıcaklıkları oldukça düşük olup, kurutuma işlemi esnasında adhezyon kuvveti ile partiküllerin birbirlerine veya kohezyon kuvveti ile partiküllerin kurutucu duvarına yapışmasına neden olmaktadır. Şeker içeriği yüksek ürünlerin püskürtmeli kurutucuda yapışma sorunu olmaksızın kurutulabilmesi için hava çıkış sıcaklığının, toz ürünün camsı geçiş sıcaklığının maksimum 20°C üzerinde olması ve camsı geçiş sıcaklığı yüksek taşıyıcı materyallerin kullanılması gerekmektedir. Ayrıca şeker içeriği yüksek gıdaların kurutulması esnasında taşıyıcı materyal olarak tercih edilen polisakkaritlerin yanı sıra protein kullanımı da yapışma sorununu azaltmaktadır. Fakat proteinlerin tek başına kullanılması yerine polisakkaritler ile birlikte kullanılması ürün kazanımı ve toz ürün özellikleri açısından daha olumlu sonuçlar ortaya çıkaracaktır.

## Kaynaklar

Adhikari B, Howes T, Bhandari BR, Langrish TAG. 2009. Effect of addition of proteins on the production of amorphous sucrose powder through spray drying. *Journal of Food Engineering*, 94:144-153.

Adhikari B, Howes T, Shrestha A, Bhandari BR. 2007. Effect of surface tension and viscosity on the surface stickiness of carbohydrate and protein solutions. *Journal of Food Engineering*, 79(4):1136-1143.

Alexander K, King CJ. 1985. Factors governing surface morphology of spray-dried amorphous substances. *Drying Technology*, 3(3):321-348.

Antony S, Rieck JR, Acton JC, Han IY, Halpin EL, Dawson PL. 2006. Effect of dry honey on the shelf life of packaged turkey slices. *Poultry science*, 85(10):1811-1820.

Avaltroni F, Bouquerand PE, Normand V. 2005. Maltodextrin molecular weight distribution influence on the glass transition temperature and viscosity in aqueous solutions. *Carbohydrate Polymers*, 58:323-334.

Bhandari BR, Hartel RW. 2005. Phase transitions during food powder production and powder stability 261-292 pp, *Encapsulated and Powdered Foods*, Onwulata C. (Ed)., Taylor, Francis, Boca Raton, USA.

Bhandari BR, Datta N, Howes T. 1997. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. *Drying Technology*, 15(2): 671-684.

Biliaderis CG, Lazaridou A, Arvanitoyannis I. 1999. Glass transition and physical properties of polyol-plasticised pullulan–starch blends at low moisture. *Carbohydrate Polymers*, 40(1): 29-47.

Boonyai P, Howes T, Bhandari B. 2006. Applications of the cyclone stickiness test for characterization of stickiness in food powders. *Drying technology*, 24(6):703-709.

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

Chegini GR, Ghobadian B. 2005. Effect of spray-drying conditions on physical properties of orange juice powder. *Drying Technology*, 23: 657-668.

Coisson JD, Travaglia F, Piana G, Capasso M, Arlorio M. 2005. Euterpe oleracea juice as a functional pigment for yogurt. *Food Research International*, 38(8-9):893-897.

Cui ZW, Sun LJ, Chen W, Sun DW. 2008. Preparation of dry honey by microwave-vacuum drying. *Journal of Food Engineering*, 84(4):582-590.

de Vilder J, Martens R, Naudts M. 1976. Influence of process variables on some whole milk powder characteristics. *Milchwissenschaft*, 31(7):396-401.

Foust AS, Wenzel LA, Clump CW, Maus L, Anderson LB. 1976. *Principles of Unit Operations*, John Wiley and Sons, New York.

Gabas AL, Telis VRN, Sorbal PJN, Telis-Romero J. 2007. Effect of maltodextrin and Arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. *Journal of Food Engineering*, 82:246-252.

Geankoplis CJ. 1983. *Transport Processes and Unit Operations*, Allyn and Bacon Series in Engineering, USA.

Goula AM, Adamopoulos KG. 2004. Influence of spray drying conditions on residue accumulation–Simulation using CFD. *Drying Technology*, 22: 1107-1128.

Goula AM, Adamopoulos KG. 2005. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: I. The effect on product recovery. *Journal of Food Engineering*, 66(1): 25-34.

Goula AM, Adamopoulos KG. 2008. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. Powder properties. *Drying Technology*, 26: 726-737.

Goula AM, Adamopoulos KG. 2010. A new technique for spray drying orange juice concentrate. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11: 342-351.

Grabowski JA, Troung VD, Daubert RC. 2006. Spray-Drying of Amylase Hydrolyzed Sweetpotato Puree and Physicochemical Properties of Powder. *Journal of Food Science*, 71(5): 209-217.

Hayashi H. 1989. Drying technologies of foods their history and future. *Drying Technology*, 7(2):315-369.

Hebbar U, Subramanian R, Jayaprakash N, Rastogi NK. 2002. An improved process for the preparation of spray dried honey powder, Indian Patent, 1562/DEL/02.

İlçali C, Aslan A. 1993.  $\alpha$ -amilaz ve Peynir Mayasının (Rennet) Püskürtmeli Kurutucuda Optimum Kurutma Koşullarının Saptanması. *Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 17: 139-144.

İmtiaz-Ul-Islam M, Langrish TAG. 2009. Comparing the crystallization of sucrose and lactose in spray dryers. *Food and Bioprocess Processing*, 87(2): 87-95.

Jittanit W, Niti-Att S, Techanuntaichai O. 2010. Study of spray drying of pineapple juice using maltodextrin as an adjunct. *Chiang Mai Journal of Science*, 37(3): 498-506.

Kelly J, Kelly PM, Harrington D. 2002. Influence of processing variables on the physicochemical properties of spray-dried fat-based milk powders. *Lait*, 82:401-412.

Kim EHJ, Chen XD, Pearce D. 2009. Surface composition of industrial spray-dried milk powders. 2. Effects of spray drying conditions on the surface composition. *Journal of Food Engineering*, 94(2) :169-181.

- Koc B, Yilmazer MS, Balkır P, Ertekin FK. 2010. Spray drying of yogurt: Optimization of process conditions for improving viability and other quality attributes. *Drying Technology*, 28(4): 495-507.
- Koç M, Koç B, Kaymak-Ertekin F. 2011. Toz Gıdaların Fiziksel Karakterizasyon Özellikleri. *Akademik Gıda*, B(4): 60-70 s.
- Lazar ME, Brown AH, Smith GS, Wang FF, Lindquist FE. 1956. Experimental production of tomato powder by spray drying. *Food Technology*, 129-134.
- Mani S, Jaya S, Das H. 2002. Sticky Issues on Spray Drying of Fruit Juices September 27–28, Paper No: MBSK 02-201 An ASAE Meeting Presentation.
- Masters K. 1972. *Spray Drying*, Leonard Hill Books, London, England.
- Mussatto SI, Machado EM, Martins S, Teixeira JA. 2011. Production, composition, and application of coffee and its industrial residues. *Food and Bioprocess Technology*, 4(5): 661-672.
- Nobuhiko A, Katsuya N, Nagataka Y. 1992. Honey containing powder and its production. Japanese Patent, JP4148654.
- Nurhadi B, Andoyo R, Indiaro R. 2012. Study the properties of honey powder produced from spray drying and vacuum drying method. *International Food Research Journal*, 19(3): 907-912.
- Phisut N. 2012. Spray drying technique of fruit juice powder: some factors influencing the properties of product. *International Food Research Journal*, 19(4): 1297-1306.
- Pisecky J. 1985. Standards, specifications and test methods for dry milk products, 203-220 pp, Concentration and Drying of Foods; Diarmuid, M.C. (Ed), Elsevier science publishing Inc., New York.
- Quek SY, Chok NK, Swedlund P. 2007. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(5): 386-392.
- Ram AK. 2011. Production of spray-dried honey powder and its application in bread. MSc thesis, Louisiana State University, Baton Rouge, LA, USA.
- Ranganna S (1997). *Manual of analysis of fruit and vegetables products*. New Delhi: MacGraw Hill Company Ltd.
- Righetto AM, Netto FM (2005). Effect of encapsulating materials on water sorption, glass transition and stability of juice from immature acerola. *International Journal of Food Properties*, 8: 337-346.
- Rodriguez-Hernandez GR, Gonzalez-Garcia R, Grajales-Lagunes A, Ruiz-Cabrera MA. 2005. Spray-drying of cactus pear juice (*Opuntia streptacantha*): Effect on the physicochemical properties of powder and reconstituted product. *Drying Technology* 23: 955-973.
- Roos YH, Karel M. 1991. Phase transitions of mixtures of amorphous polysaccharides and sugars. *Biotechnology Progress*, 7:49-53.
- Rosenberg M, Talmon Y, Kopelman IJ (1988). The microstructure of spray-dried microcapsules. *Food Microstructure*, 7: 15-23.
- Sahu JK. 2008. The effect of additives on vacuum dried honey powder properties. *International Journal of Food Engineering*, 4(8): 1556-3758.
- Samborska K, Bienkowska B. 2013. Physicochemical properties of spray dried honey preparations. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 575: 91-105.
- Samborska K, Czelejewska M. 2014. The influence of thermal treatment and spray drying on the physico-chemical properties of Polish honeys. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38: 413-419.
- Samborska K, Gajek P, Kaminska-Dworznicka A (2015). Spray drying of honey: the effect of drying aids on powder properties. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, DOI: 10.2478/pjfn-2013-0012.
- Schauss AG, Wu X, Prior RL, Ou B, Huang D, Owens J, Agarwal A, Jensen GS, Hart AN, Shanbrom E. 2006. Antioxidant capacity and other bioactivities of the freeze-dried amazonian palm berry, *Euterpe oleracea* Mart. (Acai). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54 (22): 8604–8610.
- Schmitt EA, Law D, Geoff G, Zhang Z. 1999. Nucleation and crystallization kinetics of hydrated amorphous lactose above the glass transition temperature. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 88(3): 291-296.
- Schuck P. 2002. Spray drying of dairy products: state of the art. *Lait*, 82: 375-382.
- Selvamuthukumaran M, Khanum F. 2014. Effect of Modified Atmosphere Packaging on Physicochemical, Sensory and Microbiological Properties of Spray-Dried Sea Buckthorn Fruit Juice Powder. *Journal of Food Quality*, 37(3): 149-156.
- Selvamuthukumaran M, Khanum F. 2014. Optimization of spray drying process for developing seabuckthorn fruit juice powder using response surface methodology. *Journal of food science and technology*, 51(12): 3731-3739.
- Shi Q, Fang Z, Bhandari B. 2013. Effect of addition of whey protein isolate on spray-drying behavior of honey with maltodextrin as a carrier material. *Drying Technology*, 31(13-14): 1681-1692.
- Shrestha AK, Ua-arak T, Adhikari BR, Howes T, Bhandari BR. 2007. Glass transition behavior of spray dried orange juice powder measures by differential scanning calorimetry (DSC) and thermal mechanical compression test (TMCT). *International Journal of Food Properties*, 10: 661-673.
- Slade L, Levine H, Reid DS. 1991. Beyond water activity: recent advances based on an alternative approach to the assessment of food quality and safety. *Critical Reviews in Food Science, Nutrition*, 30(2-3): 115-360.
- Snowdon JA, Cliver DO. 1996. Microorganisms in honey. *International Journal of Food Microbiology*, 31(1): 1-26.
- Şahin Nadeem H, Torun M, Özdemir F. 2011. Spray drying of the mountain tea (*Sideritis stricta*) water extract by using different hydrocolloid carriers. *LWT-Food Science and Technology*, 44(7): 1626-1635.
- Takashi I. 1984. Preparation of powder of honey or honey containing liquid food. Japanese Patent, JP59085262.
- Tolstoguzov VB. 1999. The importance of glassy polymer components in foods. *Nahrung*, 44: 76-84.
- Tong Q, Zhang X, Wu F, Tong J, Zhang P, Zhang J. 2010. Effect of honey powder on dough rheology and bread quality. *Food Research International*, 43(9): 2284-2288.
- Tonon RV, Baroni AF, Brabet C, Gibert O, Pallet D, Hubinger MD. 2009. Water sorption and glass transition temperature of spray dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice. *Journal of Food Engineering*, 94(3): 215-221.
- Tonon VR, Brabet C, Hubinger M. 2008. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 88: 411-418.
- Truong V, Bhandari BR, Howes T. 2005. Optimization of co-current spray drying process for sugar-rich foods. Part II- Optimization of spray drying process based on glass transition concept. *Journal of Food Engineering*, 71: 55-65.
- Tuley L. 1989. Don't forget the honey. *Food Manufacture*, 64:24-25.
- Tunick MH. 2008. Whey protein production and utilization: a brief history 1-13 pp, Whey processing, functionality and health benefits, Onwulata, C, Huth, P. (Eds), Wiley-Blackwell, Iowa, USA.
- Twomey M, Keogh MK, O'Kennedy BT, Auty M, Mulvihill DM. 2000. Effect of milk composition on selected properties of spray-dried high-fat and skim milk powders. *Irish Journal Agricultural and Food Research*, 39: 79-94.



- Umesh Hebbar H, Rastogi NK, Subramanian R. 2008. Properties of dried and intermediate moisture honey products: A review. *International Journal of Food Properties*, 11(4): 804-819.
- Vardin H, Yasar M. 2012. Optimisation of pomegranate (*Punica Granatum L.*) juice spray-drying as affected by temperature and maltodextrin content. *International Journal of Food Science, Technology*, 47(1):167-176.
- Vega C, Goff HD, Roos YH. 2005. Spray drying of high-sucrose dairy emulsions: Feasibility and physicochemical properties. *Journal of Food Science*, 70(3): 244-251.
- Wallack DA, El-Sayed TM, King CJ. 1990. Changes in particle morphology during drying of drops of carbohydrate solutions and food liquids. 2. Effects on drying rate. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 29: 2354-2357.
- Wang S, Langrish T. 2010. The use of surface active compounds as additives in spray drying. *Drying Technology*, 28(3): 341-348.
- Wilson RB, Crane E. 1976. Uses and products of honey, 378 p, *Honey: A Comprehensive Survey*, Crane, E. (Ed), Heinemann Publishers Ltd., London, UK.
- Yoshihide H, Hideaki H. 1993. Production of honey powder. Japanese Patent No JP5049417.