



## Bazı Model Toz Gıdaların Akışkanlığına ve Sıkıştırılabilirliğine Partikül Boyutunun Etkisinin PFT Toz Akışı Test Cihazı Kullanılarak Belirlenmesi

Ertan Ermiş\*, Rabia Güneş, İnci Zent

*İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 34303 İstanbul, Türkiye*

### MAKALE BİLGİSİ

#### *Araştırma Makalesi*

Geliş 08 Ekim 2017  
Kabul 18 Kasım 2017

#### *Anahtar Kelimeler:*

Toz gıdalar  
Akışkanlık  
Toz akışı ölçümü  
Yığın kütle yoğunluğu  
Sıkıştırılabilirlik

\*Sorumlu Yazar:

E-mail: ertan.ermis@gmail.com

### ÖZET

Toz gıdaların üretiminde akış davranışlarının belirlenmesi teknolojik uygulamalar açısından oldukça önemlidir. Toz akış davranışı verilerinin kullanıldığı bir uygulama, depo ünitesi dizaynıdır. Toz gıdaların akış davranışları partikül boyutu, dağılımı, parçacık şekli, parçacıkların kimyasal bileşimi, nem ve sıcaklık gibi parametrelere bağlı olduğundan bu parametrelerin belirlenmesi gereklidir. Bu amaçla kaya tuzu ve sofr şeker tozlarının farklı partikül boyutlarındaki akış davranışları PFT Toz Akış Test Cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Böylece tozların akış fonksiyonu, yığın kütle yoğunluğu ve sıkıştırılabilirlik özelliklerinin partikül boyutuna göre değişimi incelenmiştir. Kaya tuzu ve sofr şeker örnekleri öğütme ve eleme işlemlerinden geçirilerek tuzdan 5 farklı fraksiyon, şekerden ise 7 farklı fraksiyon elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre partikül boyutu büyüdükçe akışkanlığın kolaylaştığı, yoğunluğun arttığı, sıkıştırılabilirliğin ise azaldığı tespit edilmiştir. Bu parametrelerin önemli derecede değişim gösterdiği eşik partikül boyut değerinin 100-200 µm boyut aralığı olduğu tespit edilmiştir.

Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 6(1): 55-60, 2018

## Determination of the Effects of Particle Size and Morphology of Some Model Food Powders on Powder Flowability Using Powder Flow Tester

### ARTICLE INFO

#### *Research Article*

Received 08 October 2017  
Accepted 18 November 2017

#### *Keywords:*

Food powders  
Flowability  
Powder flow test  
Bulk density  
Compressibility

\*Corresponding Author:

E-mail: ertan.ermis@gmail.com

### ABSTRACT

Determination of powder flow behaviour is very important due to the importance of their technological applications. Use of powder flowability data in the design of hoppers is one example. Investigation of the parameters such as particle size, particle size distribution, particle shape, chemical composition, water content and temperature which affect flowability is necessary. Within this work a powder flow tester (PFT) from Brookfield Engineering Laboratories Inc. was employed to assess the flow behaviour of table sugar and rock salt powders having varied size fractions. Flow function, bulk density as well as compressibility of powder samples were tested. The rock salt and table sugar powders were grinded, screened and fractioned into 5 fractions of rock salt and 7 fractions of table sugar powder. The results indicated that increasing particle size led to increasing flowability and bulk density while decreasing compressibility. The threshold particle size range which changes these parameters significantly was notes as 100-200 µm.

DOI: <https://doi.org/10.24925/turjaf.v6i1.55-60.1622>

## Giriş

Gıda hammaddeleri; üretim, taşıma, depolamada sağladığı bazı avantajlarından dolayı çeşitli tekniklerle toz formuna getirilirler (Forny ve ark., 2011; Marabi ve ark., 2008). Gıda sanayiinde önemli bir yere sahip olan toz gıdalar genellikle amorf ya da kristal yapıdadır (Ermış, 2015). Gıda sanayiinde üretimi sıklıkla yapılan toz gıdalarından bazıları; toz baharatlar, süt tozu, toz çorbalar, toz un, şeker, yumurta tozu olarak verilebilir (Ghosal ve ark., 2010). Sağladığı çeşitli avantajlardan dolayı gıdaların toz formda üretilmesi çalışmalarının son yıllarda artmasına bağlı olarak üretim ve depolama şartlarındaki davranışlarının ekonomik kayıpların azaltılması ve etkili proses dizaynı için iyi bilinmesi gereklidir (Fitzpatrick ve ark., 2004a; Murrieta-Pazos ve ark., 2012). Toz kütlelerinin mekanik özellikler ve partikül boyut dağılımı nihai ürünün kalitesine ve ayrıca depolama ve taşıma işlemlerinin etkinliğine büyük oranda etki etmektedir (Ghosal ve ark., 2010; Marabi ve ark., 2008). Ayrıca belirtilen toz davranışlarının ve özelliklerinin karakterize edilmesi ile, uygun ve optimum endüstriyel ekipman ve proses dizaynı mümkün olabilmektedir (Molenda ve Stasiak, 2002).

Tozların akışkanlığı, bir miktar toz kütlelerinin içinde buldukları depolama ünitelerinin duvar yüzeylerindeki kısmi hareketi veya toz yığınının içerisinde komşu toz kütleleri üzerinde akma kabiliyeti olarak tanımlanmıştır (Peg, 1977). Toz gıdaların akış özellikleri partikül boyutu, dağılımı, parçacık şekli, parçacıkların kimyasal bileşimi, nem ve sıcaklık gibi çeşitli parametrelere büyük oranda bağlıdır (Juliano ve Barbosa-Cánovas, 2010; Schulze, 1998). Toz gıdaların sahip olduğu akış özellikleri, depo ünitelerinden boşaltım, nakliye, karıştırma, sıkıştırma ve ambalajlama gibi işlemleri etkilemektedir (Knowlton ve ark., 1994). Toz gıdaların üretiminde teknolojik işlemler sırasında ortaya çıkan ciddi endüstriyel problemlerden biri akışın durması durumudur (Molenda ve Stasiak, 2002). Bu nedenle toz gıdaların akış özellikleri, ayrışma, düzensiz akış, akmama gibi akış problemlerinin oluşmaması için iyi bilinmelidir. Tozların akışkanlığı, serbest akan (free flowing), kolay akan (easy flow), yapışkan (cohesive), çok yapışkan (very cohesive) ve akmayan (not flowing) şeklinde sınıflandırılabilir (Schulze, 1998). Akış fonksiyonunun ters eğimi olarak tanımlanan akış faktörü ( $ff_c$ ), değeri yükseldikçe toz akışkanlığının kolaylaştığını temsil eder ve akışkanlığı sınıflandırmak için kullanılır (Fitzpatrick ve ark., 2004b). Bu sınıflandırma Çizelge 1’de verilmiştir.

Bu çalışma, seçilen model toz gıdaların farklı partikül boyutlarında akış özelliklerini yeni geliştirilmiş olan Toz Akış Test Cihazı (PFT) ile belirlemek ve toz akışına çeşitli parametrelerin etkilerini ortaya koymak ve karşılaştırmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla öğütme işlemi ile kaya tuzundan 5 farklı fraksiyon, sofra şekerinden ise 7 farklı fraksiyon elde edilmiştir. Elde edilen farklı fraksiyonların her birinin toz akışkanlığı, sıkıştırılabilirliği, yığın kütle yoğunluğu ve partikül boyut dağılımı özellikleri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar kendi aralarında ve literatürde bulunan diğer çalışmalardaki sonuçlar ile karşılaştırılarak tartışılmıştır.

## Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada kullanılan gıda toz örnekleri (kaya tuzu, toz şeker) İstanbul’daki bölgesel bir marketten temin edilmiştir. Bu toz örneklerinin farklı partikül boyutlarında gösterdikleri toz akış davranışlarını belirlemek amacıyla Retsch ZM 200 model rotorlu öğütücü (Retsch, Almanya) ve Retsch AS 200 basic model elek sistemi (Retsch, Almanya) yardımıyla farklı partikül boyut fraksiyonları elde edilmiştir. Kaya tuzu için öğütme ve eleme işlemleri ile 5 farklı fraksiyon (32-63  $\mu\text{m}$ , 63-100  $\mu\text{m}$ , 100-200  $\mu\text{m}$ , 200-425  $\mu\text{m}$ , 425-500  $\mu\text{m}$ ) elde edilirken, şeker için 7 farklı fraksiyon (32-63  $\mu\text{m}$ , 63-100  $\mu\text{m}$ , 100-200  $\mu\text{m}$ , 200-425  $\mu\text{m}$ , 425-500  $\mu\text{m}$ , 500-710  $\mu\text{m}$ , 710-850  $\mu\text{m}$ ) elde edilmiştir. Elde edilen tozlar test öncesinde etüvde 105°C’de sabit tartıma gelene kadar kurutulmuş ve AOAC 935.29 metoduna göre nem analizleri yapılmıştır (AOAC, 2000).

### PFT Toz Akış Test Cihazı

Örneklerin toz akışkanlığı, duvar sürtünmesi, yığın yoğunluğu ve duvar sürtünme açısı gibi farklı özelliklerinin belirlenebilmesi için toz akışı ölçüm cihazı (PFT) (Brookfield Engineering, İngiltere) kullanılmıştır (Crowley ve ark., 2014; Slettengren ve ark., 2015). Daha önceden Jenike Shear Test cihazı için kullanılan ASTM D6128 metodu PFT için de geçerli bir metottur (Slettengren ve ark., 2015). Cihazın örnek hücresi (230  $\text{cm}^3$ , 15,2 cm iç çap) hareketli üst çene ve hareketsiz alt hazneden oluşmaktadır (Şekil 1). Üst çenede haznedeki tozda kesme gerilimi oluşturmak amacıyla 18 bölme bulunmaktadır. Alt hazneye toz materyalin yüzeyde kayma hareketini önlemek amacıyla delikli bir plaka şeklinde dizayn edilmiştir (Şekil 1a) (Crowley ve ark., 2014).

Alt hazne sabit dururken üst çene aşağı doğru doğrusal hareket ile değişen oranlarda sıkıştırma gerilimi ( $\sigma_1$ ) uygularken aynı zamanda dönme hareketi ile toz örnekte kesme gerilimi oluşmasına neden olmaktadır. PFT’nin temel ölçüm prensibi toz materyaline sıkıştırma gerilimi uygulandıktan sonra akmaya başlaması veya deformasyona uğraması için gerekli kesme geriliminin ( $\sigma_c$ ) ölçülmesi esasına dayanmaktadır (Slettengren ve ark., 2015).  $\sigma_1/\sigma_c$  oranı, test edilen materyalin deformasyon davranışı ile orantılıdır (Fitzpatrick ve ark., 2004a; Schulze ve ark., 2008). Bu oranın yüksek olması (>10) zayıf materyal (akışkan), düşük değer olması (<1) güçlü materyal (yapışkan) olduğunu ifade eder (Çizelge 1).

Toz kütleleri akış testi cihazla birlikte gelen paket programı (Powderflow Pro V1.2) kullanılarak yapılmış ve elde edilen veriler bu program yardımı ile işlenmiştir. Analiz sonucunda grafik şeklinde çıktılar alınarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Ayrıca Hausner oranı denklem 1’de verilen formüle göre hesaplanmıştır ve PFT’den elde edilen veriler ile karşılaştırılmıştır (Hausner, 1967).

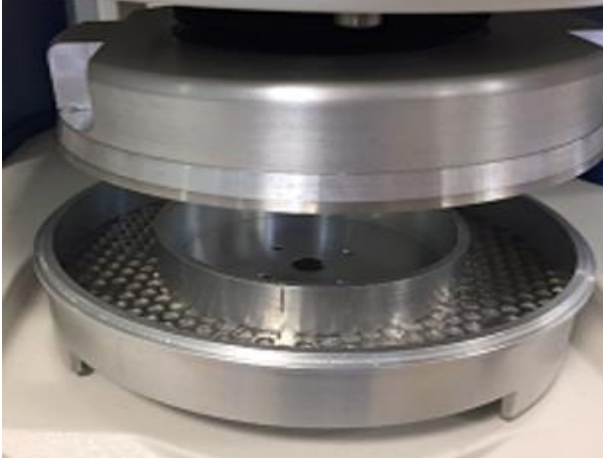
$$\text{Hausner oranı (HR)} = \rho_t/\rho_f = V_t/V_f \quad (1)$$

Denklemden  $\rho_t$ , sıkıştırılmış tozun yığın kütle yoğunluğunu;  $\rho_f$ , serbest haldeki tozun yığın kütle yoğunluğunu;  $V_t$ , sıkıştırılmış tozun hacmini ve  $V_f$  ise serbest haldeki tozun hacmini ifade etmektedir.

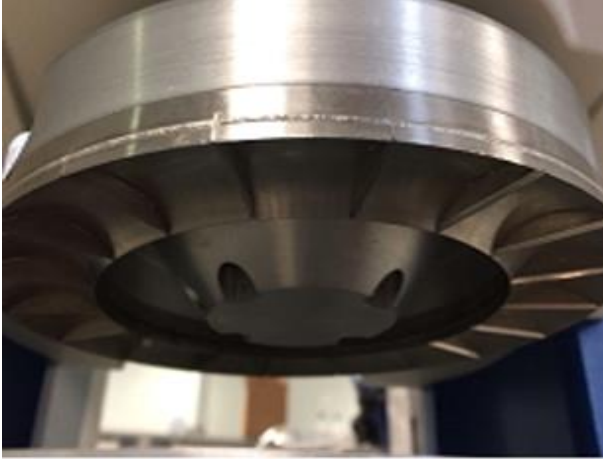
Çizelge 1 Akış faktörüne ( $ff_c$ ) göre toz akışkanlığının sınıflandırılması\*

Toz Akış Davranışı	$ff$
Akmayan	<1
Çok yapışkan	<2
Yapışkan	<4
Kolay akan	<10
Serbest Akan	>10

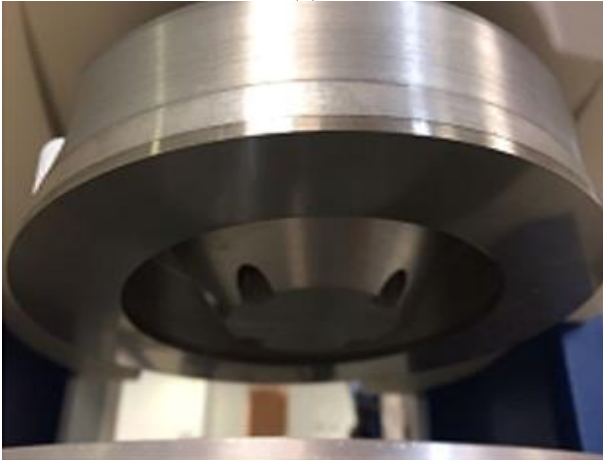
\*Fitzpatrick ve ark. (2004)



(a)



(b)



(c)

Şekil 1 Toz akış ölçüm cihazı (PFT) ölçüm hücresi görünümü  
a) Genel görünüm, b) Bölmeli üst çene, c) Düz yüzey üst çene

### Partikül Özellikleri ve Mikroyapısal Analiz

Toz örneklerinin partikül mikro yapılarının incelenmesi amacıyla ışık mikroskobu (BEL Bio Photonics, Monza, İtalya) altında 40 büyütme oküler kullanılarak görüntüleri kaydedilmiştir.

### Toz Yığın Yoğunluğu, Sıkıştırılmış Yoğunluk

Toz gıda örneklerinin yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinin belirlenmesinde ASTM D7481-09 (ASTM D7481-09, 2009) metodu modifiye edilerek kullanılmıştır. Toz yığın yoğunluğu 50 ml'lik bir cam mezüre toz örneklerinin serbest akış yöntemiyle doldurulması ve hassas terazide tartılması metoduna göre yapılmıştır. Sıkıştırılmış yoğunluk ise aynı toz örneğinin üzerine 50 defa cam bir silindir ile vurularak sıkıştırılması sonucu elde edilen hacim değeri üzerinden hesaplanarak belirlenmiştir.

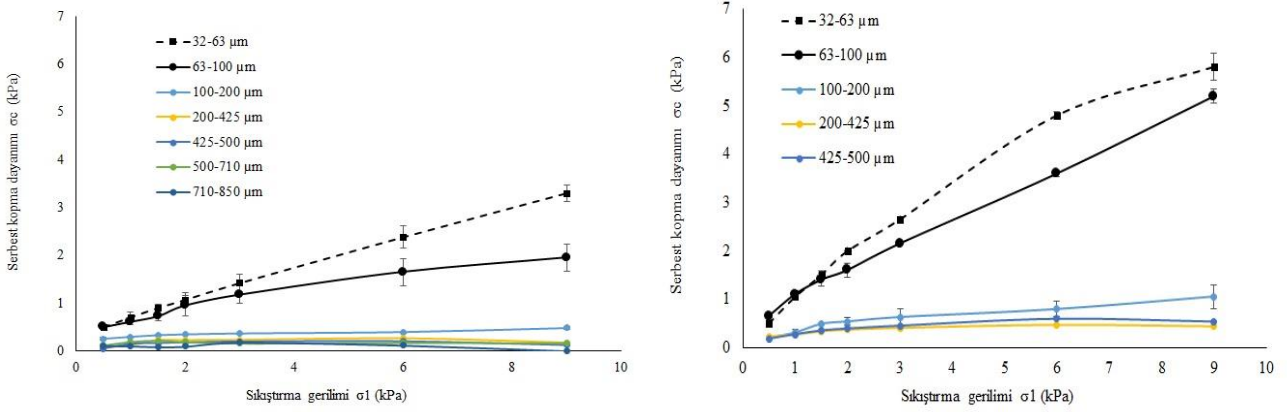
### İstatistiksel Analiz

Elde edilen bazı analiz sonuçları arasındaki farklılığın önem derecesini saptamak amacıyla istatistiksel analizler yapılmıştır. Bu amaçla, Minitab (Version 17, State College, PA, ABD) paket programı kullanılmıştır. Veriler tek yönlü varyans analizine (ANOVA) tabi tutularak ortalama değerler arasındaki farkların istatistiksel olarak değerlendirilebilmesi için Tukey çoklu karşılaştırma testi ( $P = 0.05$ ) uygulanmıştır.

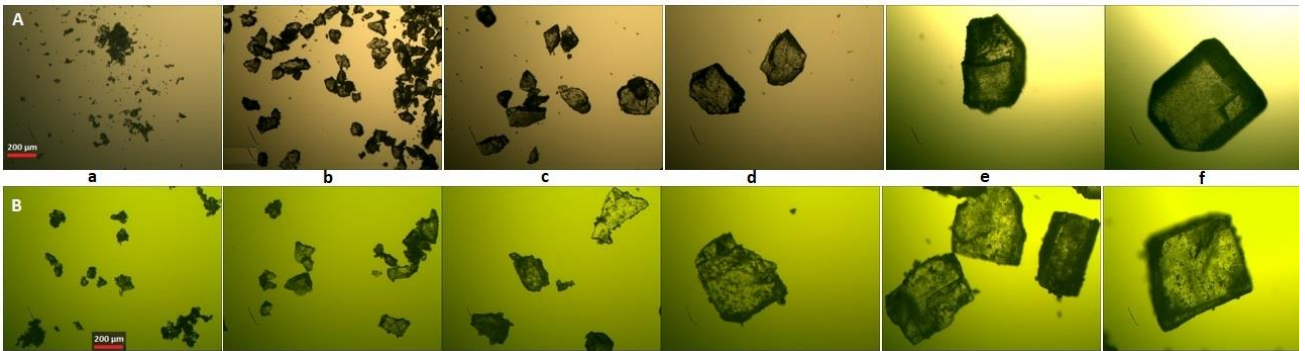
### Bulgular ve Tartışma

#### Partikül Boyutunun Toz Akışkanlığına Etkisi

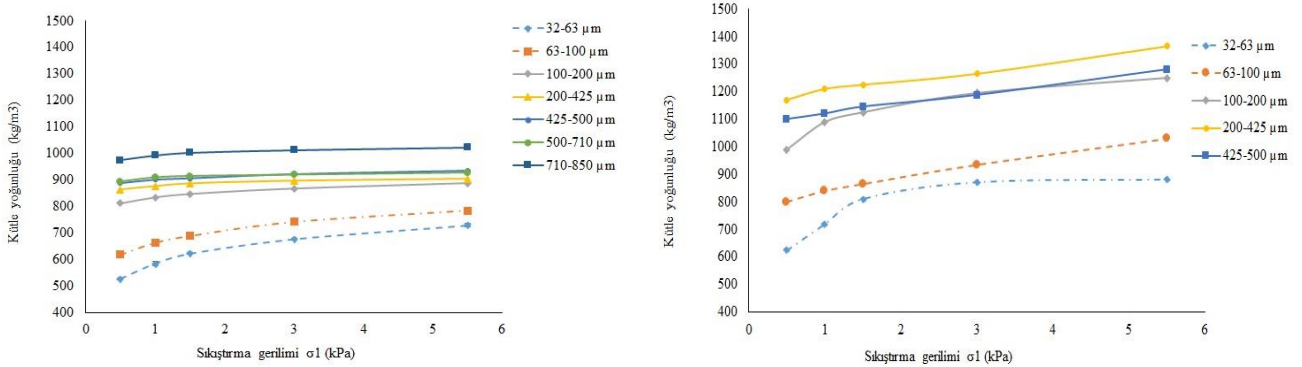
Sofra şekeri ve kaya tuzundan elde edilmiş, etüvde kurutulmuş nemi büyük oranda uzaklaştırılmış (%1'e kadar kurutulmuş) olan farklı partikül boyutlarına sahip şeker ve tuz örneklerinin akış fonksiyonları (flow functions) Şekil 2'de grafikte gösterilmektedir. Akış, daha yüksek eğim değerine sahip ya da akış fonksiyonu doğrusu diğerlerine göre daha üstte kalan örnek için daha zor olmaktadır (Çagli ve ark., 2007). Bu nedenle, testleri yapılan örnekler arasında Şekil 2'deki grafik sonuçlara göre, en zor akış davranışı 32-63  $\mu\text{m}$  partikül boyutuna sahip şeker örneğine aitken, en kolay akış davranışı ise 710-850  $\mu\text{m}$  partikül boyutuna sahip örneğe ait olduğu tespit edilmiştir. Kaya tuzu örneklerinden de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Yani en zor akış davranışı 32-63  $\mu\text{m}$  partikül boyutuna sahip tuza aitken, en kolay akış davranışı 425-500  $\mu\text{m}$  partikül boyutuna sahip örnekten elde edilmiştir. Grafikten partikül boyutunun büyümesine bağlı olarak akışın da kolaylaştığı gözlenmektedir. Elde edilen bu sonuçlara göre parçacık boyutunun azalmasının, materyalin akışı üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğu söylenebilir. Şekil 2'deki grafiklerden 100-200  $\mu\text{m}$  partikül boyutunun kritik partikül boyutu olduğu tespit edilmiştir. Yani şeker örnekleri için 4 fraksiyonun (200-425  $\mu\text{m}$ , 425-500  $\mu\text{m}$ , 500-710  $\mu\text{m}$ , 710-850  $\mu\text{m}$ ) akış davranışları yakinken, 3 fraksiyonun (32-63  $\mu\text{m}$ , 63-100  $\mu\text{m}$ , 100-200  $\mu\text{m}$ ) akış davranışları önemli ölçüde değişim göstermektedir. Tuz örnekleri için ise 3 fraksiyonun (100-200  $\mu\text{m}$ , 200-425  $\mu\text{m}$ , 425-500  $\mu\text{m}$ ) akış davranışları yakinken, 2 fraksiyonun (32-63  $\mu\text{m}$ , 63-100  $\mu\text{m}$ ) akış davranışları önemli ölçüde değişim göstermektedir.



Şekil 2 Farklı partikül boyutlarına sahip şeker (solda) ve tuz (sağda) tozu örnekleri için akış fonksiyonları (n=3)



Şekil 3 Toz partiküllerinin ışık mikroskobu görüntüleri. A-Şeker, B-Tuz. a-63-100, b-100-200, c-200-425, d-425-500, e-500-710, f-710-850



Şekil 4 Farklı partikül boyutlarına sahip şeker (solda) ve tuz (sağda) örnekleri yığın kütle yoğunlukları

Her iki örnekte de özellikle 100  $\mu\text{m}$  altındaki değişim oldukça belirgindir. Bunun nedenlerinden birinin, partikül boyutunun küçüldükçe temas yüzey alanının artması ve buna bağlı olarak da yüzeyler arası çekme ve sürtünme kuvvetinin artması olduğu söylenebilir (Fitzpatrick ve ark., 2004a; Peleg ve Hollenbach, 1984).

Teunou ve ark. (1999) yaptıkları bir çalışmada dairesel kesme hücresi (annular shear cell) kullanarak farklı toz gıdaların akış özelliklerini incelemişler ve 200  $\mu\text{m}$  ve üzeri partikül boyutuna sahip yağsız süt tozu örneğinin kolay akan ancak daha küçük partikül boyutuna sahip peyniraltı suyu tozu ve çay tozunun akışkanlıklarının partiküller arası etkileşime bağlı olarak

zorlaştığını rapor etmişlerdir. Benzer şekilde Fan ve ark. (2005) ve Rogé ve Mathlouthi (2000) büyük partikül boyutuna sahip tozların küçük partikül boyutuna sahip tozlara göre daha akışkan olduğunu rapor etmişlerdir. Rapor edilen veriler ile bu çalışmadan elde edilen veriler benzerlik göstermektedir.

Aynı partikül boyutuna sahip şeker ve tuz örneğine ait toz örneklerinin akış davranışları incelendiğinde tuz örneğinin akışının daha zor olduğu gözlenmektedir. Her iki toz örneğinde de nem değeri sıfıra yakın (%1 civarı) olduğundan nemin etkisinden bahsetmek söz konusu değildir. Bu nedenle akış davranışlarının farklılığı için partikül yüzey özelliklerinden, partiküller arası moleküler

çekim kuvvetlerinden ve molekül içi elektron dağılımı farklılıklarından bahsedilebilir. Bu sonuçlara bakarak aynı partikül büyüklüğüne sahip farklı toz gıdaların akış davranışlarının molekül yapısı ve moleküller arası etkileşime de bağlı olduğu sonucuna varılabilir. Aynı şekilde moleküllerinin polaritesinin düşük ya da yüksek olması akışkanlığa etki edebilir. Partiküllerin sahip oldukları yüzey özellikleri de (pürüzlü, köseli, düz yüzey vb) toz akışını etkileyen önemli faktörlerdendir. Şekil 3'te kullanılan toz örneklerine ait mikroskop görüntüleri verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde partikül boyutu küçüldükçe yüzey pürüzlülüğünün arttığı ve partikül şeklinin düzensizleştiği ve ayrıca birbirine yapışarak aglomeratlar oluşturdukları görülebilmektedir. Bu durum da Şekil 2'de görüldüğü gibi akışı olumsuz etkilemektedir.

#### *Partikül Boyutunun Yıgım Kütle Yoğunluğu ve Sıkıştırılabilirliğine Etkisi*

PFT'den elde edilen yığım kütle yoğunluğu değişim grafiğine bakıldığı zaman (Şekil 4) toz kütlesinin sıkıştırılabilir özellikte olduğu gözlenmektedir. Genel yoğunluğu en fazla olan fraksiyonun en büyük fraksiyon olduğu ve sıkıştırılabilirliği en fazla olan fraksiyonun ise en küçük fraksiyon olduğu gözlenmektedir. Aynı toz numunesi için birim hacimde boyut arttıkça yığım kütle yoğunluğunun da arttığı fakat sıkıştırılabilirliğin azaldığı

gözlenmektedir. Cihaz tarafından ölçülen ilk yoğunluklara bakıldığında küçük fraksiyona sahip toz kütlesinin genel yoğunluğunun daha düşük olduğu fakat sıkıştırılabilirliğinin daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Büyük fraksiyonun genel yoğunluğu ise neredeyse iki katı iken sıkıştırılabilirliğinin çok değişmediği gözlenmektedir. Küçük fraksiyonda yoğunluğun küçük olması ve sonradan daha fazla değişim göstermesi bu fraksiyonda partiküller arasında daha fazla hava boşluğu bulunduğu bu nedenle zamanla sıkıştırılabilirliğinin artmasıyla yoğunluğunun da daha fazla değişim gösterdiği şeklinde yorumlanabilir.

Çizelge 2'de tuz ve şeker tozu örneklerinin farklı partikül boyutlarına ait hesaplanan Hausner oranları ve toz kütle yoğunlukları gösterilmektedir. Partikül boyutu azaldıkça hausner oranının arttığı belirlenmiştir. Hausner oranı arttıkça toz örneklerinin sıkıştırılabilirliği artmaktadır. Çizelge 2'te partikül boyutu arttıkça toz kütle yoğunluğunun da arttığı; Şekil 4'te ise partikül boyutu arttıkça sıkıştırılabilirliğin azaldığı gözlenmektedir. Çizelge 2'de verilen hausner oranları da bu sonuçları desteklemektedir. Liu ve ark., (2008) ibuprofen tozlarının akışkanlığı üzerine parçacık özelliklerinin etkisini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada bu çalışmada elde edilen sonuçları destekleyecek şekilde partikül boyutunun artmasıyla yoğunluğun arttığını fakat sıkıştırılabilirliğin azaldığını tespit etmişlerdir.

Çizelge 2 Toz örneklerinin nem, Hausner oranı ve yoğunluk değerleri

Partikül boyutu (µm)	% Nem		Hausner oranı		Serbest toz kütle yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )		Sıkıştırılmış toz kütle yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	
	Tuz	Şeker	Tuz	Şeker	Tuz	Şeker	Tuz	Şeker
710-850	0,93	1,05	-	1,09 ± 0,03 <sup>a</sup>	-	918± 75 <sup>d</sup>	-	928±85 <sup>d</sup>
500-710	1,05	0,94	-	1,15 ± 0,00 <sup>a</sup>	-	869± 68 <sup>cd</sup>	-	875±64 <sup>cd</sup>
425-500	0,99	1,01	1,36 ± 0,00 <sup>a</sup>	1,18 ± 0,00 <sup>a</sup>	1074± 62 <sup>b</sup>	826± 62 <sup>c</sup>	1094± 52 <sup>b</sup>	846±52 <sup>c</sup>
200-425	1,07	1,08	1,40 ± 0,05 <sup>a</sup>	1,20 ± 0,00 <sup>a</sup>	1071± 60 <sup>b</sup>	746± 56 <sup>bc</sup>	1100± 62 <sup>b</sup>	786±66 <sup>bc</sup>
100-200	0,95	0,97	1,54 ± 0,06 <sup>a</sup>	1,36 ± 0,00 <sup>ab</sup>	891± 48 <sup>ab</sup>	648± 45 <sup>b</sup>	930± 51 <sup>ab</sup>	700±55 <sup>b</sup>
63-100	1,11	1,08	2,00 ± 0,00 <sup>b</sup>	1,76 ± 0,00 <sup>b</sup>	728± 30 <sup>ab</sup>	530± 40 <sup>ab</sup>	820± 42 <sup>ab</sup>	680±48 <sup>ab</sup>
32-63	1,16	1,11	2,07 ± 0,10 <sup>b</sup>	1,83 ± 0,24 <sup>b</sup>	690± 27 <sup>a</sup>	480± 20 <sup>a</sup>	780± 37 <sup>a</sup>	620±32 <sup>a</sup>

abcd; aynı sütunda yer alan ortalamalardan farklı üst simgeyi taşıyanlar istatistiksel olarak önemlidir (P<0,05)

#### **Sonuç**

Toz gıdaların akış davranışlarının iyi belirlenmesi sonucu uygun ve optimum dizayn yapılması ile üretimde teknolojik problemlerle (ayırışma, keklenme gibi) karşılaşılması sağlanabilir. Bu çalışmada bazı toz gıdaların akış davranışlarının belirlenmesi amacıyla PFT cihazının etkinliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar literatürdeki diğer çalışmalar ile uyum gösterdiğinden dolayı toz gıdaların akış davranışlarına çeşitli faktörlerin etkilerinin PFT cihazı kullanılarak etkin bir şekilde belirlenebileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçlar ile partikül boyutunun ve yüzey özelliklerinin akışkanlık, sıkıştırılabilirlik ve yoğunluk gibi toz özellikleri üzerindeki etkileri ortaya konulmuştur. Toz gıdaların üretimi, depolanması ve taşınması aşamalarında büyük sorun oluşturabilecek durumları önleyebilmek için önceden yapılacak toz karakterizasyonu, mühendislik ve dizayn çalışmaları ile oluşabilecek sorunların ortadan kaldırılması açısından önemli görülmektedir ve bu konuda yapılacak daha fazla çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

#### **Teşekkür**

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde destek olan tüm çalışma arkadaşlarımıza teşekkür ederiz.

#### **Kaynaklar**

- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International. Assoc. Off. Anal. Chem. Int. Method ce 2-66. doi:10.3109/15563657608988149
- ASTM D7481-09. 2009. Standard test methods for determining loose and tapped bulk densities of powders using a graduated cylinder. Annu. B. ASTM Stand. 1-4. doi:10.1520/D7481-09.1
- Çagli AS, Deveci BN, Okutan CH, Sirkeci DAA, Teoman EY. 2007. Flow property measurement using the Jenike shear cell for 7 different bulk solids. Proc. Eur. Congr. Chem. Eng. 16-20.
- Crowley SV, Gazi I, Kelly AL, Huppertz T, O'Mahony JA. 2014. Influence of protein concentration on the physical characteristics and flow properties of milk protein concentrate powders. J. Food Eng. 135, 31-38. doi:10.1016/j.jfoodeng.2014.03.005



- Ermış E. 2015. Food Powders: Properties and Characterization. *Gıda / J. Food* 40, 287–294. doi:10.15237/gıda.GD14072
- Fan A, Pallerla S, Carlson G, Ladipo D, Dukich J, Capella R, Leung S. 2005. Effect of particle size distribution and flow property of powder blend on tablet weight variation. *Am. Pharm. Rev.*
- Fitzpatrick JJ, Barringer SA, Iqbal T. 2004a. Flow property measurement of food powders and sensitivity of Jenike's hopper design methodology to the measured values. *J. Food Eng.* 61, 399–405. doi:10.1016/S0260-8774(03)00147-X
- Fitzpatrick JJ, Iqbal T, Delaney C, Twomey T, Keogh MK. 2004b. Effect of powder properties and storage conditions on the flowability of milk powders with different fat contents. *J. Food Eng.* 64, 435–444. doi:10.1016/j.jfoodeng.2003.11.011
- Forny L, Marabi A, Palzer S. 2011. Wetting, disintegration and dissolution of agglomerated water soluble powders. *Powder Technol.* 206, 72–78. doi:10.1016/j.powtec.2010.07.022
- Ghosal S, Indira TN, Bhattacharya S. 2010. Agglomeration of a model food powder: Effect of maltodextrin and gum Arabic dispersions on flow behavior and compacted mass. *J. Food Eng.* 96, 222–228. doi:10.1016/j.jfoodeng.2009.07.016
- Hausner HH. 1967. Friction Conditions in a Mass of Metal Powder. *Int. J. Powder Metall.* 3, 7–13.
- Juliano P, Barbosa-Cánovas GV. 2010. Food Powders Flowability Characterization: Theory, Methods, and Applications. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.* 1, 211–239. doi:10.1146/annurev.food.102308.124155
- Knowlton TM, Carson JW, Klinzing GE, Yang WC. 1994. The Importance of Storage, Transfer, and Collection. *Chem. Eng. Prog.* 44–54.
- Liu LX, Marziano I, Bentham AC, Litster JD, White ET, Howes T. 2008. Effect of particle properties on the flowability of ibuprofen powders. *Int. J. Pharm.* 362, 109–117. doi:10.1016/j.ijpharm.2008.06.023
- Marabi A, Mayor G, Burbidge A, Wallach R, Saguy IS. 2008. Assessing dissolution kinetics of powders by a single particle approach. *Chem. Eng. J.* 139, 118–127. doi:10.1016/j.cej.2007.07.081
- Molenda M, Stasiak M. 2002. Determination of the elastic constants of cereal grains in a uniaxial compression test. *Int. Agrophysics* 16, 61–65.
- Murrieta-Pazos I, Gaiani C, Galet L, Calvet R, Cuq B, Scher J. 2012. Food powders: Surface and form characterization revisited. *J. Food Eng.* doi:10.1016/j.jfoodeng.2012.03.002
- Peleg M. 1977. Flowability of Food Powders and Methods for its Evaluation — A Review. *J. Food Process Eng.* 1, 303–328. doi:10.1111/j.1745-4530.1977.tb00188.x
- Peleg M, Hollenbach AM. 1984. Flow conditioners and anticaking agents. *Food Technol.* 38, 93–102.
- Rogé B, Mathlouthi M. 2000. Caking of sucrose crystals: effect of water content and crystal size. *Zuckerindustrie* 125, 336–340.
- Schulze D. 1998. The measurement of the flowability of bulk solids, in: Brown, C., Nielsen, J. (Eds.), *Silos – Fundamentals of Theory, Behaviour and Design*. E & FN Spon, London and New York, pp. 18–52.
- Schulze D, Schwedes J, Carson JW. 2008. *Powders and bulk solids: Behavior, characterization, storage and flow, Powders and Bulk Solids: Behavior, Characterization, Storage and Flow*. doi:10.1007/978-3-540-73768-1
- Slettengren K, Xanthakis E, Ahrné L, Windhab EJ. 2015. Flow Properties of Spices Measured with Powder Flow Tester and Ring Shear Tester-XS. *Int. J. Food Prop.* 19, 1475–1482. doi:10.1080/10942912.2015.1083576
- Teunou E, Fitzpatrick JJ, Synnott EC. 1999. Characterization of food powder flowability. *J. Food Eng.* 39, 31–37. doi:10.1016/S0260-8774(98)00140-X