

TİCARİ ÖNEME SAHİP TOZ SÜT ÜRÜNLERİNİN MORFOLOJİK YAPISI VE TOZ AKIŞ ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Meryem Göksel Saraç¹, Duygu Aslan Türker², Mahmut Doğan^{2,3,*}

¹Cumhuriyet Üniversitesi, Yıldızeli Meslek Yüksekokulu, Gıda Teknolojisi, Sivas

²Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Kayseri

³TAGEM Gıda Analiz Merkezi San. Tic. Ltd. Şti., Erciyes Teknopark, Kayseri

Geliş / Received: 20.09.2020; Kabul / Accepted: 04.12.2020; Online baskı / Published online: 30.12.2020

Göksel Saraç, M., Aslan Türker, D., Doğan, M. (2021) Ticari öneme sahip toz süt ürünlerinin morfolojik yapısı ve toz akış özelliklerinin belirlenmesi. GIDA (2021) 46(1) 119-133 doi: 10.15237/gida.GD20108

Göksel Saraç, M., Aslan Türker, D., Doğan, M. (2021) Determination of morphological structure and powder flow characteristics of commercially important powdered milk products. GIDA (2021) 46(1) 119-133 doi: 10.15237/gida.GD20108

ÖZ

Bu çalışmada gıda ürünlerinin formülasyonunda önemli yer tutan toz süt ürünlerinden kazein, laktoz, yağlı süt tozu ve peynir tozu seçilmiş, kekleşme derecesi, toz akış hızı bağımlılık testi ve kohezyon testi ile ıslanabilirlik, çözülebilirlik, yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk ve morfolojik yapı gibi toz akış karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Toz süt ürünlerinin ortalama tane boyutu ile toz özellikleri ve fizikokimyasal özellikleri belirlenmiştir. Örneklerin çözünürlük, ıslanabilirlik, yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk ve Carr indeks değerleri, sırasıyla %2.87-58.72, 1.15-60.00 dk, 0.49-0.60, 0.58-0.71 ve %11.01-22.00 aralığında olduğu gözlenmiştir. Süt tozu en düşük nem ve ortalama tane boyutu ile Carr indeks değerlendirmesinde çok iyi akış gösteren örnek olarak belirlenirken çözünürlük oranı en yüksek toz ürün olmuştur. En düşük çözünürlük ve ıslanabilirlik değerleri ile tespit edilen kazein en yüksek ortalama tane boyutuna sahip ürün olarak belirlenmiştir. Örnekler içerisinde tek kekleşme görülen laktoz en uzun sürede ıslanabilen örnek olarak saptanmıştır.

Anahtar kelimeler: Süt tozu, kazein, laktoz, peynir tozu, toz akış, tanecik boyutu, fizikokimyasal özellikler

DETERMINATION OF MORPHOLOGICAL STRUCTURE AND POWDER FLOW CHARACTERISTICS OF COMMERCIALY IMPORTANT POWDERED MILK PRODUCTS

ABSTRACT

In this study, casein, lactose, full fat milk powder and cheese powder were selected which have a great importance in food formulations. The caking, powder flow rate dependency test as well as the wettability, solubility, bulk and tapped bulk density and morphological structure was determined. The solubility, wettability, bulk and tapped bulk density and Carr index values of the samples were in the range of 2.87-58.72%, 1.15-60.00 min, 0.49-0.60, 0.58-0.71 and 11.01-22.00%, respectively. Whereas milk powder was identified as the sample with the lowest moisture and average particle size in the Carr index, it was determined as the product with the highest average particle size in terms of the

* Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author

✉: dogan@erciyes.edu.tr

☎: (+90) 352 207 6666/32751

☎: (+90) 352 437 5784

Meryem Göksel Saraç; ORCID no: 0000-0002-8190-2406

Duygu Aslan Türker; ORCID no: 0000-0002-9579-8347

Mahmut Doğan; ORCID no: 0000-0003-1639-4641

solubility rate. Casein determined with the lowest solubility and wettability values was found as the product with the highest average particle size. Among samples, lactose was the only sample which caking phenomenon was determined as the sample with the longest wettability.

Keywords: Milk powder, casein, lactose, cheese powder, powder flow, particle size, physicochemical properties

GİRİŞ

Süt ve süt ürünleri gıda sektörü içerisinde oldukça önemli bir üretici ve tüketici kitlesine sahiptir (Özcan, 2011). Süt ve ürünleri içerisinde en dikkat çekici ürün grubunu dünyadaki üretimi ve kullanımındaki artış nedeniyle süt ve ürünlerinden üretilen tozlar oluşturmaktadır (Himmetağaoğlu vd., 2019). Diğer taraftan Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı-Gıda ve İlaç İdaresinin (OECD-FAO) 2021 yılı planlarına göre, yıllık % 2.6 büyüme oranı ile üretimi en hızlı artması beklenen ürünlerin süt ve ürünlerinden elde edilen toz bileşenler olması, endüstriyel üretim açısından süt ve ürünlerinden elde edilen tozların önemini göstermektedir (IDF, 2012). Ayrıca kimyasal ve mikrobiyel olarak dayanıklı olmaları, kıtlık vb. gibi acil durumlarda gıda stoku sağlamaları, taşıma ve depolama kolaylıkları, gıda ürünleri araştırma ve geliştirme çalışmalarında ve endüstriyel üretimde katkı maddesi olarak kullanılmaları gibi nedenlerden dolayı toz süt ve süt ürünleri gün geçtikçe daha fazla kullanım alanı bulmaktadır (Tamime, 2009). Süt ve ürünlerinden yağlı ve yağsız süt tozu, peynir altı suyu tozu, kazein, peynir tozu, laktoz, krema ve yoğurt tozu elde edilmektedir (Schuck, 2011). Elde edilen bu toz ürünler; tatlı ve pastacılık ürünleri, şekerlemeler, bebek mamaları, kek karışımları, çikolatalar, çorbalar, hazır soslar, kahve beyazlatıcıları, dondurma karışımları, çerez kaplamaları ve süt bazlı içeceklerin formülasyonlarında sıklıkla kullanılmaktadır (Chudy vd., 2015).

Toz halinde endüstriyel olarak üretilen, çok sayıda ve çeşitli süt ürününün; ambalajlama, işleme ve depolama özelliklerinin belirlenebilmesi için bu ürünlerin toz akış özelliklerinin belirlenmesi önem arz etmektedir (Fitzpatrick vd., 2007). Öte yandan toz gıdalarda görülen akış problemleri, gıda işletmelerindeki bunker ve silolarda üretimi yavaşlatıp enerji ve iş gücü kaybına neden olan önemli sorundur. Ayrıca, çuval ve silolarda yığın halinde depolanan toz gıda ürünleri ileri derecede kekleşme meydana getirerek ve son üründe kalite

kayıplarına neden olmaktadır (Fitzpatrick vd., 2017).

Toz ürünlerde görülen kekleşme, düşük nem oranına sahip, serbestçe akan bir tozun önce yığınlara, daha sonra topaklaşmış bir katıya ve nihayetinde yapışkan bir malzemeye dönüştüğü, üründe işlevsellik kaybına ve düşük kaliteye neden olan istenmeyen bir oluşumdur (JoséM Aguilera vd., 1995). Toz ürün kekleşmesinin bir diğer tanımı, kolayca ve serbestçe akan bir tozun akmaya karşı dirençli topaklanmış bir yapıya dönüştüren istenmeyen tanecik agregasyonu olarak yapılabilir (Zafar vd., 2017). Süt ve ürünlerinde görülen kekleşme ise süt ürünleri endüstrisinde uzun yıllardan beri karşılaşılan önemli bir sorundur (Carpin vd., 2016). 1930'lu yıllarda Troy vd. (1930) süt tozunda görülen kekleşme problemi için üç basmaktan oluşan basit ve genel bir mekanizma önermiştir. Bunlar; (i) süt tozu içerisinde bulunan laktoz tarafından nemin tutulması; (ii) parçacıkların bir araya gelerek zamanla topaklaşması, (iii) kristalizasyon ve sonrasında laktozun bir kısmının katılmasındadır. Toz süt ürünlerinde meydana gelen kekleşme mekanizmasını anlayabilmek için bu üç mekanizmanın iyi anlaşılması gerekmektedir. Bu maddelerden ilki amorf malzemenin kristalleşmesi, ikincisi ise kristal parçacıkların nem tutması ile ilgilidir. Ürünlerin ve ortamın nem içeriği her iki mekanizma için de oldukça önemli bir parametredir. Üçüncü madde ise ilk iki maddeye kıyasla nem içeriği ile ilgili olmayıp parçacıklar arasındaki kuvvetlerin dengesinden etkilenmektedir (Carpin vd., 2016). Gıda ürünlerinin toz akışını etkileyen diğer bir faktör ise tozların tanecik büyüklüğüdür (O'Donoghue vd., 2019). Mathlouthi vd. (2003)'nin sükrozun nem sorpsiyonu ve kekleşme özellikleri üzerine tanecik büyüklüğünün etkisini araştırdıkları çalışmalarında sükroz içerisindeki küçük boyuttaki tanecik miktarı (<250 µm) ne kadar yüksekse, sükrozun o kadar fazla nem absorbe ettiğini belirtmiştir. Ayrıca, toz ürünlerin kohezifliğinin azalan tanecik

büyüklüğü ile arttığı rapor edilmiştir. Bu çalışmanın paralelinde Provent vd. (1993)'de toz ürünlerin kekleşmesinin ana nedeninin tanecik boyutu olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, büyük ve küçük tanecik boyutuna sahip toz ürünleri farklı oranlarda karıştırarak, kekleşmenin hem toz ürünün toplam yüzey alanından hem de tanecik boyutu dağılımından etkilendiğini kanıtlamışlardır.

Bu çalışmada da birçok gıda ürünün formülasyonunda sıklıkla kullanılan laktoz, süt tozu, peynir tozu ve kazeinin kekleşme derecesi, toz akış hızı bağımlılık testi ve kohezyon testi gibi toz akış özellikleri ile tanecik büyüklüğü arasındaki ilişki belirlenmiştir. Ayrıca bu ürünlerin renk, nem ve su aktivitesi gibi fizikokimyasal özellikleri belirlenerek akış davranışı özelliklerine etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında özellikle depolama ve ambalajlamada önemli problemlere neden olan kekleşme ile

rnlerin fizikokimyasal özelliklerinin ilişkisi arasındaki bağlantı belirlenmeye çalışılmıştır. Mevcut literatürde toz süt ürünlerinin akış davranışlarını inceleyen ve toz süt ürünlerinin toz akış özellikleri ile fizikokimyasal özelliklerinin birlikte incelendiği herhangi bir çalışmaya ulaşılmadığı için elde edilen çıktıların hem literatüre hem de endüstriyel uygulamalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Çalışma kapsamında kullanılan toz süt ürünlerinden kazein Abcr A.ř. (Almanya), yağlı süt tozu (rn bileşimi %26.0 yağ, kurumaddede %35.0 protein, %37.5 laktoz) Enka A.ř. (Türkiye), laktoz Laktoprot A.ř. (Almanya) ve peynir tozu (lor peynirinden pnomatik kurutucu ile üretilmiştir) (rn bileşimi %39.0 yağ, %36.1 protein, %9.5 laktoz) Kurutucum Gıda (Türkiye)'den temin edilmiştir (şekil 1).



şekil 1. Çalışmada kullanılan toz süt rnleri
Figure 1. Powdered dairy products used in the study

Fizikokimyasal analizler

Nem miktarı, toz süt ürünlerinin 105 C'de sabit tartıma gelene kadar kurutulmasıyla hesaplanmıştır (AOAC, 2000). Toz süt ürünlerinin su aktivitesi değerleri su aktivitesi tayin cihazı (Aqua Lab 2.0, ABD) kullanılarak llmştir. Renk değerleri ise L^* (açıklık/koyuluk), a^* (kırmızılık/yeşillik) ve b^* (sarılık/mavilik) parametreleri üzerinden renk tayin cihazı (Konica-Minolta, CR400, Japonya) kullanılarak belirlenmiştir.

Toz zellik analizleri

Toz süt ürünlerinin çözünürlük analizi yöntemde bazı modifikasyonlar yapılarak gerçekleştirilmiştir. 5 gr nek saf su ile karıştırılmış ve homojen karışım elde edildikten sonra 5000 RPM'de 5 dk santrifüjlenmiştir. stte kalan karışımdan 20 mL alınarak 80 C'de sabit tartıma gelene kadar kurutulularak hesaplamalar yapılmıştır (Takahashi vd., 1988).

Islanabilirlik analizi için Freudig vd. (1999) yöntemi modifiye edilerek 0.5 gr nek tartılmış

ve 50 mL saf su içerisine atılmış ve tüm taneciklerin tamamen kaybolması için gerekli süre kaydedilmiştir.

Yığın yoğunluk ($\rho_{\text{yığın}} \text{ g/cm}^3$) analizi için toz süt ürünleri 50 mL'lik mezürlere herhangi bir basınç uygulamadan tartılmış ve ağırlıkları kaydedilmiştir. Sıkıştırılmış yoğunluk ($\rho_{\text{sıkıştırılmış}} \text{ g/cm}^3$) analizi için ise aynı örnekler 180 saniye boyunca düzgün bir zemine vurulmuş ve süre sonunda son hacim kaydedilmiştir. Yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk analizleri kütle/hacim oranı hesabıyla belirlenmiştir (Du vd., 2014). Örneklerin car indeks değerleri aşağıda verilen formül ile hesaplanmıştır (Turchiuli vd., 2005).

$$\text{Car İndeks Değeri} = \frac{\text{Sıkıştırılmış Yoğunluk} - \text{Yığın Yoğunluğu}}{\text{Sıkıştırılmış Yoğunluk}} \times 100$$

Toz akış özellikleri

Toz süt ürünlerinin toz akış özellikleri kohezyon testi, toz akış hızı bağımlılık testi (PFSD testi) ve kekleşme testi (caking test) başlıklarında Stable Micro System (TA-XT2 Plus, İngiltere) tekstür cihazı ile özel toz akış ölçüm bıçağı ile gerçekleştirilmiştir. Toz süt ürünlerinin kohezyon testi probun 50 mm.s^{-1} hızda yukarı doğru çıkmasıyla belirlenirken, kohezyon endeks oranı kohezyon katsayısı/örnek ağırlığı ile hesaplanmıştır (Landillon vd., 2008). PFSD testi ise 10, 20, 50, 100 mm.s^{-1} artan hızlarda belirlenen kuvvet/mesafe eğrisinin altındaki pozitif alan baz alınarak belirlenmiştir (de Freitas Eduardo vd., 2007). Kekleşme ve kekleşme kuvveti değerlendirmesi ise prob sıkıştırılma sırasında ölçülen kolon yüksekliği ile hesaplanmıştır (Benkovic vd., 2009). Toz akış analizi sonucunda elde edilen veriler Test Texture Exponent 32 yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır.

Elek analizi

Toz süt ürünlerinin tanecik boyutunun belirlenmesi için elek analizi titreşimli elek sallayıcı cihazı ile (Retsch AS 200, Almanya) kullanılarak 0.053-0.212 μm aralığındaki çaplara sahip 8 adet elek ile belirlenmiştir. 50 gr örnek tartılmış ve 10 dk boyunca eleklerden geçmesi için sarsılmıştır. Analiz sonucunda her bir örnek için ortalama tane boyutu değerleri (d_{50}) hesaplanmıştır (Oskaybaş, 2016).

Morfolojik yapı analizi

Toz süt ürünlerinin morfolojik yapıları Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) (Tescan Mira3, Çek Cumhuriyeti) ile belirlenmiştir.

İstatistiksel analiz

Toz süt ürünlerinde yapılan analizlerin değerlendirilmesi için tek yönlü varyans analizi (ANOVA), Minitab (Windows Sürüm 18 için MINITAB) programı ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Tukey testi, numuneler arasındaki farkı yorumlamak ve ortalamaları karşılaştırmak için yapılmıştır ($P < 0.05$).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Fizikokimyasal özellikler

Toz süt ürünlerinin nem miktarları, su aktivitesi ve renk değerleri Çizelge 1'de gösterilmektedir. Süt ve ürünlerinden elde edilen tozların nem değerleri %4.55 ile 7.82 arasında belirlenmiştir. Süt tozu ile laktoz en düşük nem değerlerine sahipken aralarında istatistiksel açıdan bir fark bulunmamıştır ($P > 0.05$). Öte yandan en yüksek nem oranı peynir tozunda tespit edilmiş ve kazein ile nem miktarı açısından aralarında istatistiki açıdan önemli bir fark bulunmamıştır ($P > 0.05$). Nem miktarı toz ürünlerde toz akış özelliklerini etkiler ayrıca depolama sürecinde formülasyonlarına katıldıkları ürünün yapısının bozulmaması açısından da önemlidir. Diğer taraftan özellikle süt tozlarında nem miktarının %5 barajını geçmemesi istenmektedir. Aksi durumda Maillard reaksiyonları oluşmakta ve laktoz kristalizasyonu enzimatik reaksiyonları sayesinde ortaya çıkmaktadır (Carić, 1994). a_w analizi sonucunda; peynir tozunun 0.25 değeri ile en yüksek su aktivitesine sahip toz ürün olduğu belirlenmiştir. Süt tozu ve laktoz nem miktarında olduğu gibi en düşük su aktivitesi değerine sahip ürünler olarak tespit edilmiştir. Toz süt ürünlerinin renk değerlendirilmesinde kullanılan L^* , a^* ve b^* parametrelerinin tamamında örnekler arasında fark istatistiksel açıdan önemli olarak belirlenmiştir ($P < 0.05$). L^* , a^* ve b^* değerleri sırasıyla 74.01-97.63, (-)1.75-5.57 ve 14.27-24.22 aralığında belirlenmiştir. L^* değerinden en yüksek süt tozu, en düşük kazein belirlenirken; a^* ve b^* değerlendirmelerinde en düşük süt tozu, en yüksek kazein olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 1. Toz süt ürünlerinin fizikokimyasal zellikleri
Table 1. Physicochemical properties of powdered dairy products

Örnekler Samples	Nem (%) Moisture (%)	a_w a_w	Renk Değerleri Color Values		
			L^*	a^*	b^*
Süt Tozu Milk Powder	4.81 ± 0.11 ^b	0.17 ± 0.00 ^c	97.63 ± 0.11 ^a	-1.75 ± 0.02 ^d	14.27 ± 0.03 ^d
Kazein Casein	6.88 ± 0.08 ^a	0.19 ± 0.00 ^b	74.01 ± 0.01 ^d	5.57 ± 0.11 ^a	24.22 ± 0.02 ^a
Peynir Tozu Cheese Powder	7.82 ± 0.26 ^a	0.25 ± 0.01 ^a	88.01 ± 0.01 ^c	3.68 ± 0.01 ^b	21.93 ± 0.01 ^b
Laktoz Lactose	4.55 ± 0.32 ^b	0.17 ± 0.00 ^c	94.41 ± 0.01 ^b	-0.53 ± 0.01 ^c	15.78 ± 0.02 ^c

Aynı stndaki farklı harfler örnekler arası farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu gösterir. ortalama ± standart sapma

Different letters on the same column indicate that the difference between the samples is statistically significant. mean±standard deviation

Toz zellikler

Toz süt örneklerinin çözünürlük, ıslanabilirlik, yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk ve Carr indeks gibi karakteristik özellikleri; formülasyonuna katılacağı ürünü, hazırlama şeklini ve depolama koşullarını belirleme nedeniyle önemlidir. Toz zelliklerinin belirlendiği analiz sonuçları izelge 2'de verilmiştir. Toz rnlerin endüstriyel kullanımları göz önüne alındığında ıslanma, dispersiyon ve çözünme aşamalarını içeren rehidrasyon özellikleri önem kazanmaktadır (Freudig vd., 1999; Schubert, 1993). Ayrıca sıvı ortamlarda karıştırma ve çalkalama gibi mekanik etkilerin en az oranda kullanılması ile tam çözünen ve topaklaşma göstermeyen tozlara instant denilirken (Forny vd., 2011) diğer taraftan hızlı ve kolay bir şekilde ıslanabilen tozlara da instant denilmektedir (Schuck vd., 2012). Gıda tozlarının çözünmeleri fiziksel özellikleri ve içerdikleri yağ miktarına göre değişiklik göstermektedir ve bu özellikler nedeniyle toz ürünlerin sıvı içerisinde topaklanma sorunu görülebilmektedir (Börjesson vd., 2013). Örneklerin znrlk değerleri birbirinden farklı olarak hesaplanmıştır. Özellikle kazein en düşük çözünürlük oranı ile (%2.87) diğer toz ürünlerinden oldukça farklı olarak belirlenmiştir. Öte yandan süt tozu %58.72 çözünürlük oranı ile toz süt ürünleri içerisinde en yüksek çözünürlük özelliğine sahip ürün olarak tespit edilmiştir. ıslanabilirlik, yığın halindeki bir tozun, kılcal kuvvetlerin etkisi altında bir sıvıyı emebilme

yeteneğinin bir ölçüsüdür (Kim vd., 2002). Toz rnlerin yüzey bileşiminin ıslanabilirlik değerlerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Genel olarak, hidrofobik bileşenler (r. yağ) "zayıf" ıslanabilme özelliği gösterirken, yüzeyinde higroskopik bileşenlerin (r. laktoz) bulunduğu toz ürünler "iyi" ıslanabilme değerlerine sahip olurlar (Fldt vd., 1996). Bu alışma kapsamında ıslanabilirlik özellikleri değerlendirilen toz süt ürünleri değerlendirmesinde kazeinin ıslanabilirlik değeri 1.15 dk; peynir tozunun 2.10 dk; süt tozunun 1.50 dk ve laktozun ise 60 dk lık ıslanabilirlik değerine sahip ürünler olduğu saptanmıştır. Kim vd. (2002)'nin toz süt ürünlerinin yüzeyinde bulunan yağın örneklerin ıslanabilirlik özelliklerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında süt tozunun ıslanabilirlik değerinin yüzeyde bulunan yağ uzaklaştırılmadan önce 10 dk, yüzeydeki yağ uzaklaştırdıktan sonra ise 12 dk olarak bulmuşlardır. Elde edilen bu sonuç araştırmacılar tarafından beklenmeyen bir durum olarak yorumlanmıştır. Çünkü yüzeyden uzaklaştırılan yağın süt tozu örneklerinin ıslanabilirlik değerini düşüreceği ngrlmş fakat tam ters bir sonuçla karşılaşılmıştır. Elde edilen bu sonucun bir nedeni yağ ekstraksiyonu yoluyla daha fazla protein tabakasının açığa çıkması; bir diğer olası açıklaması ise yağ ekstraksiyonu esnasında yüzeyin daha higroskopik olacak şekilde değişmiş olabileceği şeklinde ifade edilmiştir. Toz

ürünlerin ıslanabilirliği tozların yüzey özellikleri, karıştırma, sıcaklık, tanecik büyüklüğü, amfipatik maddelerin varlığına, gözenek yapısına bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Jeantet vd., 2010; Sharma vd., 2012). Özetle, özellikle instant toz gıda ürünlerinin hazırlanmasında kullanılan

toz süt ürünlerinin ıslanabilirlik değerlerinin daha düşük olması ürün kalitesi açısından önemli bir parametre olarak değerlendirilebilir ve ıslanabilirlik değeri toz ürünlerin yüzeyinde bulunan hidrofobik bileşiklerin uzaklaştırılması ile artırılabilir.

Çizelge 2. Toz süt ürünlerinin toz özellikleri
Table 2. Powder properties of powdered dairy products

Örnekler <i>Samples</i>	Çözünürlük (%) <i>Solubility (%)</i>	Islanabilirlik (dk) <i>Wettability (min)</i>	Yığın yoğunluk (g/cm ³) <i>Bulk Density (g/cm³)</i>	Sıkıştırılmış yoğunluk (g/cm ³) <i>Tapped Density (g/cm³)</i>	Carr İndeks (%) <i>Carr Index (%)</i>
Süt Tozu <i>Milk Powder</i>	58.72 ± 0.86 ^a	1.50 ± 0.01 ^c	0.57 ± 0.00 ^b	0.64 ± 0.01 ^b	11.01 ± 0.01 ^c
Kazein <i>Casein</i>	2.87 ± 0.38 ^d	1.15 ± 0.00 ^d	0.60 ± 0.00 ^a	0.71 ± 0.00 ^a	16.00 ± 0.00 ^b
Peynir Tozu <i>Cheese Powder</i>	42.62 ± 2.68 ^b	2.10 ± 0.02 ^b	0.49 ± 0.01 ^d	0.58 ± 0.01 ^c	16.00 ± 0.01 ^b
Laktoz <i>Lactose</i>	30.13 ± 3.84 ^c	60.00 ± 0.01 ^a	0.53 ± 0.01 ^c	0.68 ± 0.01 ^{a,b}	22.00 ± 0.01 ^a

Aynı sütündeki farklı harfler örnekler arası farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu gösterir. ortalama ± standart sapma

Different letters on the same column indicate that the difference between the samples is statistically significant. mean ± standard deviation

Yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk toz endüstrisinde paketlenme ve ambalaj materyali seçiminde ekonomik açıdan önem taşımaktadır. Ayrıca uzun süreli nakliye ve depolama özelliklerinin belirlenebilmesi için yığın yoğunluk analizi önemli bir değerlendirme kriteridir (Sharmavd., 2012). Toz süt ürünlerinin yığın yoğunluğu ekonomik, ticari ve işlevsel olarak önemli bir özelliktir. Bu bağlamda, toz ürünlerin özellikle uzun mesafelere taşınması durumunda, paketlenme hacmini azaltmak için yüksek bir yığın yoğunluğuna sahip olmaları önemlidir. Yüksek yığın yoğunluğu aynı zamanda ambalaj malzemesinden de tasarruf sağlar. Bir tozun yoğunluğu ayrıca kap hacmine, paketlenme malzemelerinin gereksinimine ve prosesleme için makine seçiminde de göz önünde bulundurulmalıdır. Gıda ürünlerinde topaklaşma ya da kekleşmeye olan hassasiyetin bir göstergesi olduğundan düşük yığın yoğunluğu özellikle instant gıda tozlarının dikkate alınması gereken önemli bir özelliğidir (Sharma vd., 2012). Yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değerlendirmesi için yapılan hesaplamalar sonucunda her iki analiz için en

düşük sonuçlar peynir tozunda, en yüksek sonuçlar ise kazeinde belirlenmiştir. Genel olarak, gıda tozlarının ortalama yığın yoğunluğu değerleri 0.30 ile 0.80 g/cm³ arasında, yağsız süt tozlarının ortalama yığın yoğunluğu değerleri ise 0.40 ile 0.45 g/cm³ arasında değişmektedir (Kelly vd., 2002). Yığın yoğunluğu değerlerini etkileyen ana parametre tozların yapısı ve bileşimidir. Pürüzsüz ve tekdüze bir yapı yığın yoğunluğunu artırırken, toz yapıda tutunan havayı artıran gözeneklilik ise yığın yoğunluğunu azaltır (Kelly vd., 2002). Kurutma işlemi değişkenlerinin beyaz peynir tozu ürün kalitesine etkilerinin araştırıldığı bir çalışma da peynir tozunun yığın yoğunluğu değeri 0.215–0.261 g/cm³ aralığında bulunmuş ve bu değer literatürdeki değerlerden daha düşük olduğu ifade edilmiştir (Erbay vd., 2015). Aynı çalışmada literatüre göre elde edilen düşük yığın yoğunluğu değerinin temel nedenlerinden birinin peynir tozlarının yüksek yağ içeriklerinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Yine doğal fosfokazeinat ile karıştırılan laktozun yığın yoğunluğu değerinin ise 0.249 g/cm³ olduğu rapor edilmiştir (Gaiani vd.,

2006). Ayrıca, Reddy vd. (2014)'nin püskürtmeli kurutucu kullanılarak toz haline getirilen keçi sütü tozlarının yığın yoğunluğu değerlerini 0.33-0.45 g/cm³ olarak belirlemiş ve proses koşullarının yığın yoğunluğunu etkilediğini vurgulamıştır. Öte yandan toz ürünlerin yoğunluk değerleri, proses ekipmanları seçimi için de önemli bir kriterdir ve düşük yığın yoğunluğu değerinin topaklaşmanın bir göstergesi olduğu ifade edilmektedir (Barbosa-Cánovas, 2005). Güçlü yapısal mukavemete sahip bir toz, bir taşıma sistemi içerisinde dağıldığında yığılmaya karşı direnç göstererek düşük bir yığın yoğunluğuna sahip olacakken, yapısal olarak zayıf bir toz kolayca çöküp yüksek yığın yoğunluğu sergileyecektir. Parçacıklar arasındaki yüksek sürtünme genellikle düşük bir yığın yoğunluğu ile sonuçlanır. Nitekim azalan sürtünme ile de yığın yoğunluğu artar (Abdullah vd., 1999). Ayrıca yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk verileri ile hesaplanan ve akış davranışları hakkında bilgi veren Carr indeks değerlendirmesinde örneklerin farklı akış davranışları sergilediği görülmektedir. Toz ürünlerde Carr indeks değeri %15'den küçükse çok iyi, %15-20 aralığında ise iyi, %20-35 orta, %35-45 kötü ve %45'den büyük değerlerde ise çok kötü akış tanımlaması yapılmaktadır (Santhalakshmy vd., 2015). Bu değerlendirmeye göre süt tozu çok iyi, kazein ve peynir tozu iyi, laktoz ise orta akış davranışı göstermektedir. Carr indeks sonuçları, çalışmamız kapsamında yapılan toz akış değerlendirmelerinden olan akış özelliği sonuçları ile paralellik göstermektedir.

Toz akış özellikleri

Toz gıda ürünlerinin sergilemiş oldukları toz akış özellikleri, toz ürünlerin raf ömrü süresince birbirine yapışma ve kekleşme eğiliminin bir göstergesi olması açısından önemlidir. Bu nedenle bu çalışmada ticari öneme sahip ve birçok gıda ürününün formülasyonunda kullanılan toz süt ürünlerinin toz akış özellikleri belirlenerek birbirleri ile kıyaslanmıştır. Toz taneciklerinin birbirine tutunma ve daha büyük tanecik kümeleri oluşturma eğilimi kohezyon olarak tanımlanır. Toz süt ürünlerinin kohezyon indeksi değerleri ile bu değerlere karşılık gelen akış özellikleri, Benkovic and Bauman (2009)'ın kohezyon indeksi değerine dayalı toz akış özelliklerini kategorize ettikleri ölçek ile belirlenerek Çizelge

3'te verilmiştir. En yüksek kohezyon indeksi değerine sahip laktoz, kohezif akış özelliği gösterirken; en düşük kohezyon indeksi değerine sahip süt tozu, serbest akış özelliği sergilemiştir. Peynir tozu ile kazein ise kolay akış karakteristiği göstermiştir. Ayrıca, örneklerin kohezyon indeksi değerleri arasındaki farklılık istatistiksel ($P<0.05$) olarak önemli bulunmuştur. Kohezyon indeksi değeri toz parçacıkların aglomerasyonu ve birbirine yapışma eğiliminin bir göstergesi olduğundan özellikle depolama ve paketleme aşamasında toz ürünlerin sergileyecekleri özelliklerin belirlenmesi açısından büyük öneme sahiptir (Oskaybaş, 2016). Toz süt ürünlerinin kohezyon indeksi değerleri ortalama tane boyutu ile ilişkilendirildiğinde ise nispeten küçük tanecik boyu dağılımına sahip örneklerin kohezyon indeksi değerlerinin daha düşük olduğu gözlenmiştir. Elde edilen bu sonuç araştırmacıların geniş tanecik dağılımına sahip toz bileşenlerin dar tanecik dağılımına sahip toz sahip olanlara göre daha zor akış sergilediğini belirledikleri Altuntaş (2015)'in çalışması ile uyumludur. Bu durumun dışında toz süt ürünlerinin kohezyon özelliği higroskopisite, elektrostatik aktivite, gözeneklilik, tanecik boyutu ve şekli gibi çeşitli faktörlerden etkilendiğinin de belirtilmesi gerekir (Thomas vd., 2004).

PFSD testinde, sıkıştırma katsayıları her sıkıştırma döngüsünde kuvvet/mesafe eğrisinin altında kalan pozitif alandan hesaplanır (Göksel Saraç, 2018). PFSD testi ile akış hızına bağlı olarak gıdaların akış davranış özellikleri ölçülür ve veriler toz gıda ürünlerinin işleme, depolama ve taşınması sırasında sergileyeceği akış davranışları ile ilgili önemli bilgiler verir (Er vd., 2019). Artan test hızına bağlı olarak örneklerin gösterdikleri sıkışma katsayısı değerleri Şekil 2'de gösterilmiştir.

Şekilde de görüldüğü üzere numunelerin sıkıştırma katsayısı değerlerinde en dikkat çekici farklılık peynir tozu örneğinde görülmüştür. Öte yandan, artan sıkıştırma katsayısı, toz bir ürünün yüksek taşıma hızlarında daha zor bir akış özelliği göstereceğini belirtir (Maja Benković vd., 2013). Toz ürünlerin akış özellikleri artan veya azalan akış hızı ile birlikte değişebilir. Örneğin, toz bir ürün hızlı akmaya zorlandıkça akışa daha dirençli

hale gelebilir veya akış hızı arttıkça serbest akış özelliği gösterebilir (Doğan vd., 2019). Bu çalışmada ele alınan (toz süt ürünlerinin sıkıştırma katsayısı değerleri, genellikle akış hızına bağlı olarak değişim göstermiştir. Kazein ve süt tozu örneklerinin sıkıştırma katsayısı değerlerinde artan test hızıyla azalma gözlenmiştir. Bu da kazein ve süt tozu örneklerinin yüksek akış hızlarında daha kolay aktığının göstergesidir. Çizelge 4'te ticari öneme sahip toz süt ürünlerine ait PFSD testi sonuçlarına göre elde edilen akış stabilitesi değerleri 50 mm/s'deki kohezyon katsayısı değerleri verilmiştir. Toz süt ürünlerinin akış stabilitesi değerleri 0.91 ile 1.08 değerleri arasında gözlenmiştir. Örnekler arasındaki değişimin akış stabilitesi değerleri üzerine etkisi ise istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.05$). Akış

stabilitesi 1.00'e yakın olduğunda, toz ürünlerin analiz esnasında test hızının değişimi ile önemli ölçüde etkilenmediği belirtilmektedir (Benković vd., 2013). Ayrıca akış stabilitesi değeri toz bir ürünün akış direnci hakkında önemli ipuçları verir. Akış stabilitesi değeri 1.00'den küçük veya büyük ise numunenin test esnasında değişikliğe uğradığı sonucuna varılır. Gözlenen bu değişikliklerin nedeni de toz taneciklerinin aşınmasına veya aglomeraların parçalanmasına atfedilir (Doğan vd., 2019). 50 mm s⁻¹ test hızında toz süt ürünlerinin PFSD testi ile belirlenen kohezyon katsayısı değerleri -817.30 ile -1243.16 g.mm arasında değişmektedir. Elde edilen bu sonuçlar, Çizelge 3'te verilen kohezyon indeksi analizi sonuçları ile uyumludur.

Çizelge 3. Toz süt ürünlerinin kohezyon indeksi değerleri ve akış özellikleri
Table 3. Cohesion index values and flow properties of powdered dairy products

Örnekler Samples	Kohezyon İndeksi Cohesion Index	Akış Özelliği Flow Behavior
Süt Tozu Milk Powder	9.59 ± 0.16 ^d	Serbest akış
Kazein Casein	13.41 ± 0.08 ^b	Kolay akış
Peynir Tozu Cheese Powder	11.47 ± 0.21 ^c	Kolay akış
Laktoz Lactose	14.83 ± 0.12 ^a	Kohezif

Aynı sütündeki farklı harfler örnekler arası farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu gösterir. ortalama ± standart sapma

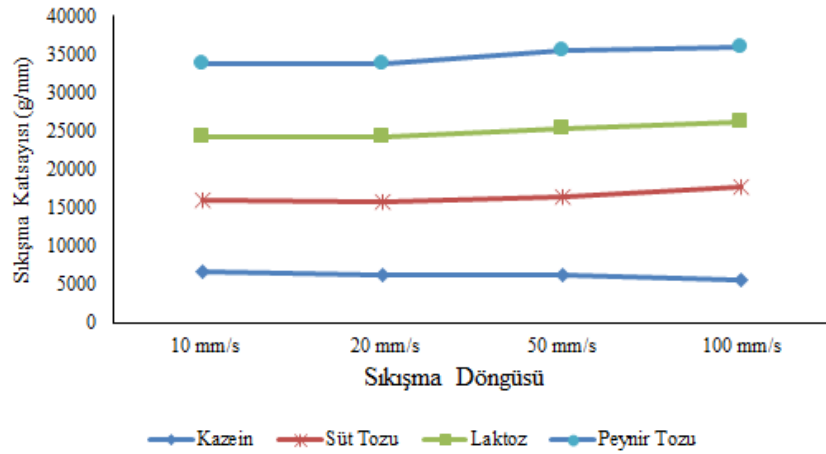
Different letters on the same column indicate that the difference between the samples is statistically significant. mean±standard deviation

Çizelge 4. Toz süt ürünlerinin akış stabilitesi ve 50 mm/s deki kohezyon katsayısı değerleri
Table 4. Flow stability and cohesion coefficient values at 50 mm/s of powdered milk products

Örnekler Samples	Akış Stabilitesi Değerleri Flow Stability Values	Kohezyon Katsayısı (g.mm) Cohesion Coefficient (g.mm)
Süt Tozu Milk Powder	1.00 ± 0.02 ^{a,b}	-817.30 ± 12.91 ^a
Kazein Casein	1.08 ± 0.09 ^a	-1243.16 ± 7.22 ^d
Peynir Tozu Cheese Powder	0.91 ± 0.03 ^b	-883.99 ± 15.70 ^b
Laktoz Lactose	1.00 ± 0.03 ^{a,b}	-1156.75 ± 14.59 ^c

Aynı sütündeki farklı harfler örnekler arası farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu gösterir. ortalama ± standart sapma

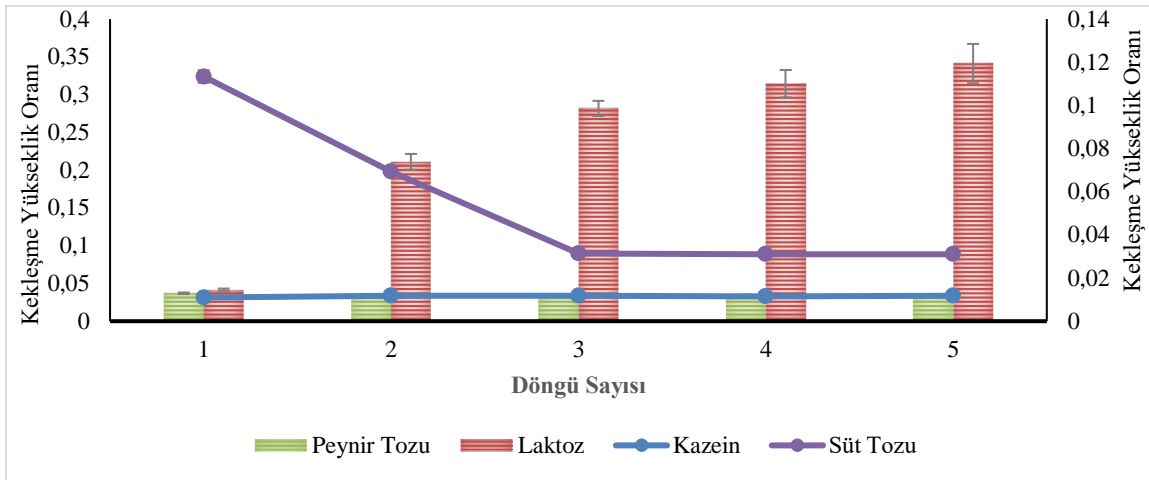
Different letters on the same column indicate that the difference between the samples is statistically significant. mean±standard deviation



şekil 2. PFSD testinde artan test hızlarına bağlı olarak örneklerin sıkışma katsayısı değerleri
 Figure 2. The compression coefficient values of the samples depending on the increasing test speeds in the PFSD test

Dşk nem ieriğine sahip amorf toz gıda ürünlerinde gözlenen kekleşme, tozların önce topraklara, ardından toprak halinde yapışkan istenmeyen bir malzemeye dönüştüğü, toz ürünün kalite ve işlevselliğinin azalmasına neden olan zararlı bir oluşumdur (Aguilera vd., 1995). Toz gıda ürünlerinde görülen kekleşme sonucu oluşan ürünler, küçük ve dağılabilir özellikteki oluşumlardan ürünün akışkanlığın kaybına neden

olan sert toprakların oluşumuna kadar farklı özellikler sergileyebilir (Mercan vd., 2018). Süt tozlarının kekleşme özellikleri ve kekleşmeye olan duyarlılığını belirlenmesi de ürünlerin işleme, depolama ve taşıma özellikleri hakkında önemli bilgiler verebilir. şekil 3'te örneklerin her bir döngüde gösterdikleri kekleşme yükseklik oranı değerleri verilmiştir.



şekil 3. Örneklerin her bir döngüde gösterdikleri kekleşme yükseklik oranı değerleri
 Figure 3. The cake height ratio values shown by the samples in each cycle

Döngü sayısına bağlı olarak peynir tozu ve kazein tozlarının kekleşme yükseklik oranında kayda değer bir değişimin olmadığını göstermiştir. şekil 3 incelendiğinde 1 ve 5. döngüler arasında görülen en belirgin değişim laktoz ve süt tozunda

kaydedilmiştir. Laktoza ait kekleşme yükseklik oranı değerleri incelendiğinde artan döngü sayısı ile birlikte kekleşme yükseklik oranında arttığı gözlenmiştir. Kekleşme yükseklik oranında görülen keskin artış, toz örneğinin, kek

oluşumuna oldukça eğilimli olduğunu göstermektedir (Benković vd., 2017). Ayrıca, Çizelge 5'te verilen toz süt ürünlerinin kekleşme ve ortalama kekleşme kuvveti değerleri ile Şekil 3'te elde edilen verilerin birbirleri ile uyumlu olduğu gözlenmektedir. Nitekim incelenen toz

gıda ürünleri içerisinde artan döngü sayısı ile birlikte kekleşme yükseklik oranının da arttığı tek örnek olan laktozda kekleşme kaydedilirken peynir tozu, süt tozu ve kazeinde kekleşme meydana gelmemiştir.

Çizelge 5. Toz süt ürünlerinin kekleşme ve ortalama kekleşme kuvveti değerleri
Table 5. Cake strength and mean cake strength values of powdered dairy products

Örnekler <i>Samples</i>	Kekleşme Kuvveti (g.mm) <i>Cake Strength (g.mm)</i>	Ortalama Kekleşme Kuvveti (g) <i>Mean Cake Strength (g)</i>
Süt Tozu <i>Milk Powder</i>	Kekleşme oluşmadı	Kekleşme oluşmadı
Kazein <i>Casein</i>	Kekleşme oluşmadı	Kekleşme oluşmadı
Peynir Tozu <i>Cheese Powder</i>	Kekleşme oluşmadı	Kekleşme oluşmadı
Laktoz <i>Lactose</i>	941.69 ± 8.15	56.64 ± 2.43

Elek analizi

Toz süt ürünlerinin elek analizi sonuçlarına göre elek numaralarına bağlı yüzde birikme miktarlarının ve ortalama elek boyutları Şekil 4'de gösterilmektedir. Kazein 144.4 µm değeri ile en yüksek tanecik boyutuna sahip ürün olarak belirlenirken, süt tozu ortalama tanecik boyutu en düşük (82.5 µm) ürün olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, süt tozlarının bileşiminde görülen farklılıkların süt tozlarının bazı fizikokimyasal özellikleri üzerine etkisinin incelendiği Tuohy (1989) 'nın çalışması ile kıyaslanabilir. Tuohy (1989) çalışmalarında düzenli bir yapıya sahip yağsız süt tozlarının ortalama tanecik boyutunun 85 µm, tam yağlı süt tozlarında ise 230 ile 250 µm arasında değiştiğini rapor etmiştir.

Tanecik boyutu, toz ürünlerde toz akış başta olmak üzere birçok ürün özelliğini ve depolama sürecinde ürünlerde meydana gelen değişimleri etkilemektedir. Tanecik büyüklüğü azalmasının akış davranış indeksini azalttığı kaydedilmiştir (Yu vd., 2018). Benzer şekilde en düşük ortalama tanecik boyutuna sahip süt tozunun, örnekler içerisinde en düşük kohezyon indeksine sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Thomas vd. (2004) tanecik boyutunun süt tozlarında kohezyonu etkilediği, Sharmavd. (2012) ise yığın yoğunluğunu etkileyen parametreler içerisinde olduğunu ifade

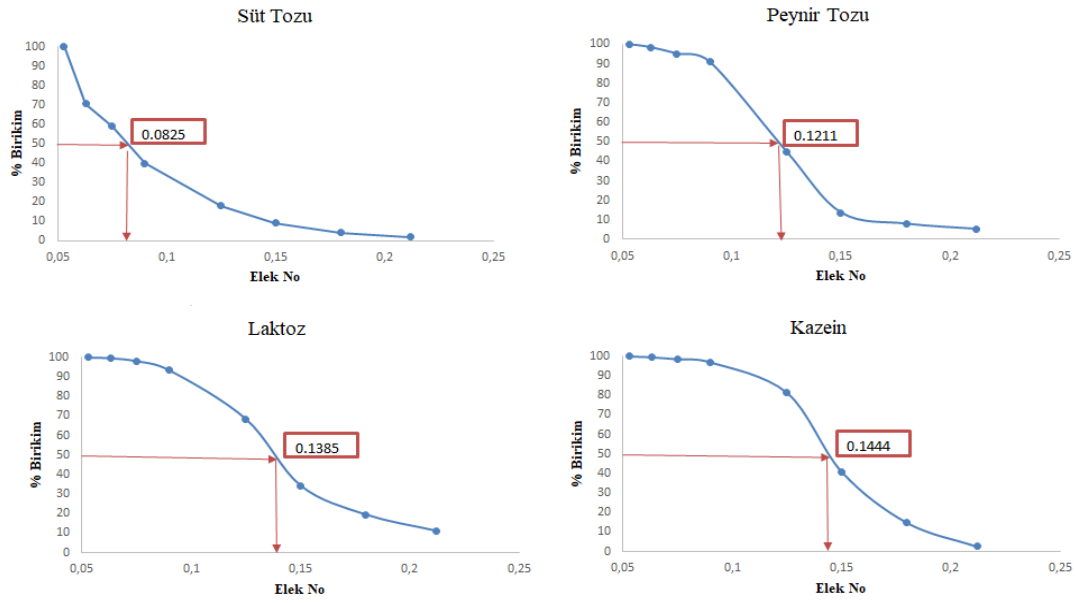
etmektedir. Benzer şekilde yapılan başka bir çalışmada parçacık boyutu değişiminin tozların akışkanlığını ve özelliklerini etkilediği belirlenmiştir (Doğan vd., 2019).

Morfolojik yapı analizi

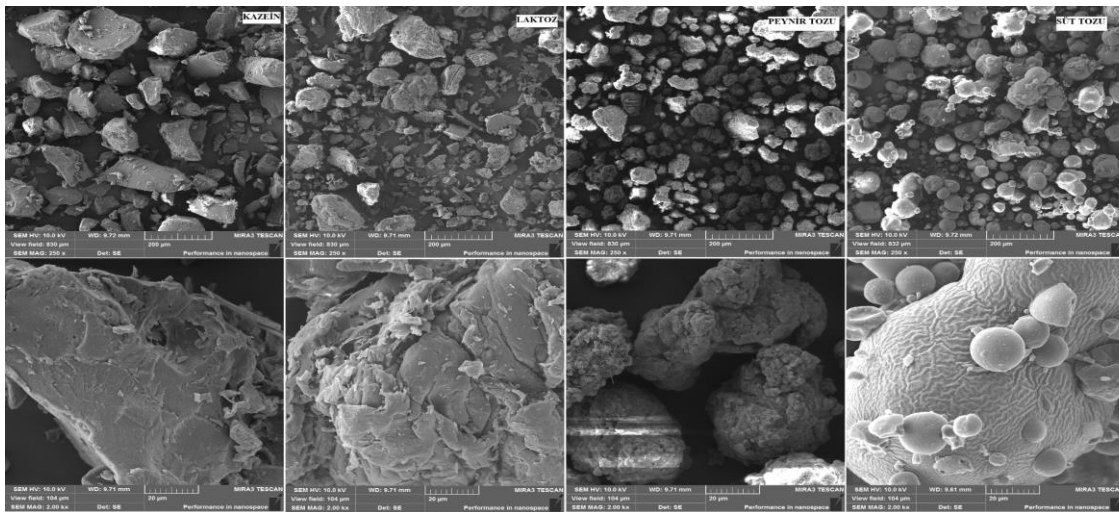
Toz süt ürünlerinin mikro yapıları 250x ve 2000x büyütme ile Şekil 5'de gösterilmiştir. Örnekler arasında kazein ve laktozun şekil benzerliği kısmen bulunsada da tanecik büyüklüğü açısından incelendiğinde laktozun daha küçük yapıda olduğu görülmektedir. Her iki örnekte düzenli bir şekil yapısı gözlenmemiş, laktozun yüzey yapısının daha pürüzlü olduğu belirlenmiştir. Öte yandan peynir tozunda oldukça farklı yüzey karakteristiği tespit edilmiştir. Bu durumun üretim ve öğütme sürecinde uygulanan proses parametreleri ile ilgili olduğunu düşünülmektedir. Süt tozu örneğinde ise diğer toz süt ürünlerine göre daha düzgün dairesel yapılar belirlenmiştir. Pürüzlü yapıda bulunan kazein ve laktozun en yüksek, süt tozunun ise en düşük kohezyon indeksine sahip olduğu belirlenmiştir. Öte yandan en pürüzlü yüzeye sahip laktoz örneği kohezif akış, en yuvarlak ve pürüzsüz yapıya sahip süt tozu örneğinin ise serbest akış gösterdiği toz akış sonuçları ve SEM görüntüleri yorumlandığında görülmektedir. Laktoz için morfoloji değerlendirmelerinde iki farklı yapı

gözlenmektedir. Bunlardan ilki kavisli iğne benzeri yapıdır ve β -laktoz karakteristiğini ifade eder, diğer şekil ise savaş baltası (tomahawk) şeklidir ve α -laktozdan oluşan formlarda gözlenir (Lara-Mota vd., 2020). Bu kapsamda çalışmada kullanılan laktoz α -laktoz karakteristiği göstermektedir. Kazein ise herhangi bir işlem uygulanmadığında kompakt yapıda

gözlenmektedir ve kazein SEM görüntüleri literatür çalışmaları ile benzerlik göstermektedir (Xu vd., 2020). Toz rnekleri yüksek yağ içeriğine sahip olduklarında küresel ve przly paracak yapıları göstermektedir (da Silva vd., 2018; Pierre Schuck, 2009). Süt tozu ve peynir tozunda yağ oranı artışına bağlı olarak yuvarlak ve przly yüzeyler tespit edilmiştir.



şekil 4. Toz süt ürünlerinin ortalama tane boyutu
Figure 4. Average particle size of powdered dairy products



şekil 5. Toz süt rnlerinin SEM görüntüleri
Figure 5. SEM images of powdered dairy products

SONUÇ

Toz süt ürünleri özellikle tüketime hazır ve kolay hazırlanan (instant) toz ürünler içerisinde besinsel değeri artırmak, aroma ve tat geliştirmek, dolgu malzemesi olmak, kıvam vermek gibi özellikleri nedeniyle oldukça yüksek oranlarda kullanılmaktadır. Toz ürünler, uzun depolama süresi olan ve kolay bozulmayan ürünler olarak bilinmektedir. Uzun depolama süresinde ürün yapısında meydana gelecek topaklanmalar sorun oluşturabilmektedir. Öte yandan süt ve ürünlerinden elde edilen tozların formülasyonuna katıldığı ürünlerin ambalaj materyali ve üretim hattında kullanılacak makine ve ekipman seçiminde önemli etkilerinin olduğu bilinmektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında değerlendirilen toz süt ürünlerinin fizikokimyasal, toz ve toz akış özelliklerinin birbirini etkilediği belirlenmiştir. Ticari öneme sahip toz süt ürünlerinin ortalama tanecik boyutu ile çözünürlük değerleri değerlendirildiğinde en düşük tanecik boyutuna sahip örneğin süt tozu olduğu ve yine süt tozu örneğinin en yüksek çözünürlüğe (%58.72) sahip örnek olduğu görülmüştür. Toz süt ürünlerinin çözünürlük ve tanecik boyutu arasındaki ilişki birlikte incelendiğinde ise daha büyük ortalama tanecik boyutuna sahip örneklerin çözünürlük değerlerinin daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Bunun nedeni, tanecik boyutunun materyallerin çözünme davranışını etkilemesidir (Sun vd., 2012). Parçacık boyutundaki azalma, difüzyon mesafesini azaltarak çözünme oranını artırabilmektedir. Boyut olarak daha büyük tanecik boyutuna sahip materyaller göreceli olarak dar bir yüzey alanına sahip olduğundan çözünme oranları daha düşüktür (Sharma vd., 2015). Çalışma sonuçlarına paralel olarak tanecik boyutundaki azalma ile çözünürlük değerlerinin artmasının nedeninin azalan yüzey alanıyla birlikte difüzyon mesafesinin azalması ve böylece örneklerin çözünme oranının arttığı sonucuna varılmıştır. Öte yandan Carr indeksi ile kohesyon indeksi sonuçlarının paralellik gösterdiği tespit edilmiştir. Toz akış değerlendirmelerinden olan kekleşme kuvveti verileri incelendiğinde kekleşme oluşan tek ürün laktoz olarak belirlenmiştir. Ayrıca ürünlerin renk değerleri incelendiğinde, örneklerin birbirinden oldukça farklı değerlere

sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum ise formülasyonuna ilave edildikleri ürünlerde istenen renk aralığının belirlenmesi için düzenlemeler yapılması gerekliliğini göstermektedir. Toz ürünlerin özellikleri ürün formülasyonu hazırlaması ve depolaması için önemlidir. Bu nedenle bu çalışma yaptığı karakterizasyon ve ilişkilendirme çalışmaları ile literatür için değerli görülmektedir. Bu aşamadan sonra ürün grupları kendi içlerinde seçilerek farklı ürünlerle etkileşimleri toz akış özellikleri açısından gözlenebilir. Ayrıca ürünlerin üretim aşamasından itibaren depolama sürecinde meydana getirdiği değişimler izlenebilir. Toz ürünleri işleme ve özelliklerini belirleme, karmaşık yapıları ve toz ürün formülasyonunda bulunan diğer ürünler nedeniyle önemlidir ve bu konu üzerinde yeni çalışmalar planlanabilir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar, bu makale ile ilgili başka kişi veya kurumlar ile çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

YAZAR KATKILARI

Makalenin fikir/kavram ve denetleme/danışmanlık ile makalenin genel düzeni aşamasına katkı yapan yazar Mahmut Doğan'dır. Veri toplama, tasarım, yöntem, analiz verilerin işlenmesi kaynak taraması ve yorum aşamasında katkı yapan yazarlar, Meryem Göksel-Saraç ve Duygu Aslan-Türker'dir. Yazarlar makalenin son halini okumuş ve onaylamıştır.

KAYNAKLAR

- Abdullah, E. C., Geldart, D. (1999). The use of bulk density measurements as flowability indicators. *Powder Techn.*, 102(2), 151-165. doi: [https://doi.org/10.1016/S0032-5910\(98\)00208-3](https://doi.org/10.1016/S0032-5910(98)00208-3)
- Aguilera, J., del Valle, J., Karel, M. (1995). Caking phenomena in amorphous food powders.. *Trends Food Sci. Technol.*, 6(5), 149-155. doi: 10.1016/S0924-2244(00)89023-8
- Altuntaş, F. (2015). *Prebiyotik Hazır Etsiz Toz Çiğ Kefle Üretimi*. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.

- AOAC. (2000). Official Methods of Analysis of AOAC International. *Association of Official Analysis Chemists International*. Washington DC, the USA.
- Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). Physical and chemical properties of food powders. *Encaps. and Powder. Foods*, 39-71.
- Benković, M., Bauman, I. (2009). Flow properties of commercial infant formula powders. *World Acad Sci Eng Technol*, 54(6), 495-499.
- Benković, M., Belščak-Cvitanović, A., Bauman, I., Komes, D., Srećec, S. (2017). Flow properties and chemical composition of carob (*Ceratonia siliqua* L.) flours as related to particle size and seed presence. *Food Res. Int.*, 100, 211-218. doi: 10.1016/j.foodres.2017.08.048
- Benković, M., Belščak-Cvitanović, A., Komes, D., Bauman, I. (2013). Physical Properties of Non-Agglomerated Cocoa Drink Powder Mixtures Containing Various Types of Sugar and Sweetener. *Food Bioproc Tech*, 6(4), 1044-1058. doi: 10.1007/s11947-011-0742-0
- Benković, M., Srećec, S., Špoljarić, I., Mršić, G., Bauman, I. (2013). Flow Properties of Commonly Used Food Powders and Their Mixtures. *Food Bioproc Tech*, 6(9), 2525-2537. doi: 10.1007/s11947-012-0925-3
- Börjesson, E., Innings, F., Trägårdh, C., Bergenstahl, B., Paulsson, M. (2013). The dissolution behavior of individual powder particles. *Dairy Sci Technol*, 93(4-5), 357-371.
- Carić, M. (1994). *Concentrated and dried dairy products*: VCH Publishers Inc.
- Carpin, M., Bertelsen, H., Bech, J. K., Jeantet, R., Risbo, J., Schuck, P. (2016). Caking of lactose: A critical review. *Trends Food Sci. Technol.*, 53, 1-12. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.04.002>
- Chudy, S., Pikul, J., Rudzińska, M. (2015). Effects of storage on lipid oxidation in milk and egg mixed powder.
- da Silva, D. F., Hirschberg, C., Ahrné, L., Hougaard, A. B., Ipsen, R. (2018). Cheese feed to powder: Effects of cheese age, added dairy ingredients and spray drying temperature on properties of cheese powders. *J. Food Eng.*, 237, 215-225.
- de Freitas Eduardo, M., da Silva Lannes, S. C. (2007). Use of texture analysis to determine compaction force of powders. *J. Food Eng.*, 80(2), 568-572.
- Doğan, M., Aslan, D., Gürmeriç, V., Özgür, A., Göksel Saraç, M. (2019). Powder caking and cohesion behaviours of coffee powders as affected by roasting and particle sizes: Principal component analyses (PCA) for flow and bioactive properties. *Powder Techn.*, 344, 222-232. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.12.030>
- Du, S.-k., Jiang, H., Yu, X., Jane, J.-l. (2014). Physicochemical and functional properties of whole legume flour. *LWT-Food Sci Technol.*, 55(1), 308-313.
- Er, B., Sert, D., Mercan, E. (2019). Production of skim milk powder by spray-drying from transglutaminase treated milk concentrates: Effects on physicochemical, powder flow, thermal and microstructural characteristics. *Int. Dairy J.*, 99, 104544. doi: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104544>
- Erbay, Z., Koca, N., Kaymak-Ertekin, F., Ucuncu, M. (2015). Optimization of spray drying process in cheese powder production. *Food Bioprod Process*, 93, 156-165. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.12.008>
- Fäldt, P., Bergenstahl, B. (1996). Spray-dried whey protein/lactose/soybean oil emulsions. 2. Redispersability, wettability and particle structure. *Food Hydrocoll*, 10(4), 431-439.
- Fitzpatrick, J. J., Barry, K., Cerqueira, P. S. M., Iqbal, T., O'Neill, J., Roos, Y. H. (2007). Effect of composition and storage conditions on the flowability of dairy powders. *Int. Dairy J.*, 17(4), 383-392. doi: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2006.04.010>
- Fitzpatrick, J. J., O'Connor, J., Cudmore, M., Dos Santos, D. (2017). Caking behaviour of food powder binary mixes containing sticky and non-sticky powders. *J. Food Eng.*, 204, 73-79. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.02.021>

- Forny, L., Marabi, A., Palzer, S. (2011). Wetting, disintegration and dissolution of agglomerated water soluble powders. *Powder Technol*, 206(1-2), 72-78.
- Freudig, B., Hoge Kamp, S., Schubert, H. (1999). Dispersion of powders in liquids in a stirred vessel. *Chem Eng Process*, 38(4-6), 525-532.
- Gaiani, C., Ehrhardt, J. J., Scher, J., Hardy, J., Desobry, S., Banon, S. (2006). Surface composition of dairy powders observed by X-ray photoelectron spectroscopy and effects on their rehydration properties. *Colloids Surf. B*, 49(1), 71-78. doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2006.02.015>
- Göksel Saraç, M. (2018). Rendering Artık Yağlarından Emülgatör Üretimi ve Model Gıdalarda Arayüzey (interfacial) Reolojik Uygulamaları. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi, Kayseri, Türkiye.
- Himmetagaoglu, A. B., Erbay, Z., Çam, M. (2019). Süt Yağının Toza Dönüştürülmesi ve Krema Tozu. *Academic Food J.*, 17(1).
- IDF, I. D. F. (2012). The World Dairy Situation 2012. Bulletin of the International Dairy Federation (Vol. 458/2012). Brussels, Belgium.
- Jantet, R., Schuck, P., Six, T., Andre, C., Delaplace, G. (2010). The influence of stirring speed, temperature and solid concentration on the rehydration time of micellar casein powder. *Dairy Sci Technol*, 90(2-3), 225-236.
- Kelly, J., Kelly, P. M., Harrington, D. (2002). Influence of processing variables on the physicochemical properties of spray dried fat-based milk powders. *Le Lait*, 82(4), 401-412.
- Kim, E. H. J., Chen, X. D., Pearce, D. (2002). Surface characterization of four industrial spray-dried dairy powders in relation to chemical composition, structure and wetting property. *Colloids Surf. B*, 26(3), 197-212. doi: [https://doi.org/10.1016/S0927-7765\(01\)00334-4](https://doi.org/10.1016/S0927-7765(01)00334-4)
- Landillon, V., Cassan, D., Morel, M.-H., Cuq, B. (2008). Flowability, cohesive, and granulation properties of wheat powders. *J. Food Eng.*, 86(2), 178-193.
- Lara-Mota, E. E., Nicolás-Vázquez, M. I., López-Martínez, L. A., Espinosa-Solis, V., Cruz-Alcantar, P., Toxqui-Teran, A., Saavedra-Leos, M. Z. (2020). Phenomenological study of the synthesis of pure anhydrous β -lactose in alcoholic solution. *Food Chem*, 128054.
- Mathlouthi, M., Rogé, B. (2003). Water vapour sorption isotherms and the caking of food powders. *Food Chem*, 82(1), 61-71. doi: [10.1016/S0308-8146\(02\)00534-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00534-4)
- Mercan, E., Sert, D., Akın, N. (2018). Determination of powder flow properties of skim milk powder produced from high-pressure homogenization treated milk concentrates during storage. *LWT-Food Sci Technol*, 97, 279-288. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.002>
- O'Donoghue, L. T., Haque, M. K., Kennedy, D., Laffir, F. R., Hogan, S. A., O'Mahony, J. A., Murphy, E. G. (2019). Influence of particle size on the physicochemical properties and stickiness of dairy powders. *Int. Dairy J.*, 98, 54-63. doi: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.07.002>
- Oskaybaş, B. (2016). Çerezlik Kabak Posası Kullanılarak Diyet Lifi ve Pektin Üretimi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, Türkiye.
- Özcan, D. (2011). Süt ve Süt Ürünlerinde Tüketici Talebi ve Satın Alma Kararına Etki Eden Faktörler Üzerine Bir Araştırma: İzmir İli Örneği. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Bornova, İzmir.
- Provent, B., Chulia, D., Cary, J. (1993). Particle size and the caking tendency of a powder. *Eur J Pharm Biopharm* 39(5), 202-207.
- Reddy, R. S., Ramachandra, C. T., Hiregoudar, S., Nidoni, U., Ram, J., Kammar, M. (2014). Influence of processing conditions on functional and reconstitution properties of milk powder made from Osmanabadi goat milk by spray drying. *Small Rumin. Res*, 119(1), 130-137. doi: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2014.01.013>

- Santhalakshmy, S., Bosco, S. J. D., Francis, S., Sabeena, M. (2015). Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. *Powder Techn*, 274, 37-43.
- Schubert, H. (1993). Instantization of powdered food products. *Int. Chem. Eng*, 33(1), 28-45.
- Schuck, P. (2009). Understanding the factors affecting spray-dried dairy powder properties and behavior *Dairy-derived ingredients* (pp. 24-50): Elsevier.
- Schuck, P. (2011). Milk Powder: Types and Manufacture. *Encyclopedia of Dairy Science*, 108-117.
- Schuck, P., Jeantet, R., Dolivet, A. (2012). *Analytical methods for food and dairy powders*: John Wiley & Sons.
- Sharma, A., Jana, A. H., Chavan, R. S. (2012). Functionality of milk powders and milk-based powders for end use applications—a review. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 11(5), 518-528.
- Sharma, S., Verma, A., Teja, B. V., Shukla, P., Mishra, P. R. (2015). Development of stabilized Paclitaxel nanocrystals: In-vitro and in-vivo efficacy studies. *Eur J Pharm Sci*, 69, 51-60. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2014.11.012>
- Sun, J., Wang, F., Sui, Y., She, Z., Zhai, W., Wang, C., Deng, Y. (2012). Effect of particle size on solubility, dissolution rate, and oral bioavailability: Evaluation using coenzyme Q10 as naked nanocrystals. *Int J Nanomedicine*, 7, 5733.
- Takahashi, S., Seib, P. (1988). Paste and gel properties of prime corn and wheat starches with and without native lipids. *Cereal Chem*, 65(6), 474-483.
- Tamime, A. (2009). Dried milk products. Dairy powders and concentrated milk products: Oxford, UK: Blackwell Pub. Ltd.
- Thomas, M. E., Scher, J., Desobry-Banon, S., Desobry, S. (2004). Milk powders ageing: effect on physical and functional properties. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 44(5), 297-322.
- Troy, H. C., Sharp, P. F. (1930). α and β Lactose in Some Milk Products. *J Dairy Sci*, 13(2), 140-157. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(30)93513-8
- Tuohy, J. (1989). Some physical properties of milk powders. *Irish J Agr Food Res*, 141-152.
- Turchiuli, C., Fuchs, M., Bohin, M., Cuvelier, M.-E., Ordonnaud, C., Peyrat-Maillard, M., Dumoulin, E. (2005). Oil encapsulation by spray drying and fluidised bed agglomeration. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 6(1), 29-35.
- Xu, B., Yuan, J., Wang, L., Lu, F., Wei, B., Azam, R. S., Ren, X., Zhou, C., Ma, H., Bhandari, B. (2020). Effect of multi-frequency power ultrasound (MFPU) treatment on enzyme hydrolysis of casein. *Ultrason Sonochem*, 63, 104930.
- Yu, Z.-Y., Jiang, S.-W., Cai, J., Cao, X.-M., Zheng, Z., Jiang, S.-T., Wang, H.-L., Pan, L.-J. (2018). Effect of high pressure homogenization (HPH) on the rheological properties of taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) pulp. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 50, 160-168.
- Zafar, U., Vivacqua, V., Calvert, G., Ghadiri, M., Cleaver, J. A. S. (2017). A review of bulk powder caking. *Powder Techn*, 313, 389-401. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.02.024>