



Glütensiz unların tekno-fonksiyonel özellikleri ile toz akış davranışlarının belirlenmesi

Determination of powder flow behavior and techno-functional properties of gluten-free flours

Duygu ASLAN TÜRKER¹ , Meryem GÖKSEL SARAÇ² , Mahmut DOĞAN^{3*} 

^{1,3}Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Kayseri

²Cumhuriyet Üniversitesi, Yıldızeli Meslek Yüksekokulu, Gıda Teknolojisi, Sivas

¹<https://orcid.org/0000-0002-9579-8347>; ²<https://orcid.org/0000-0002-8190-2406>; ³<https://orcid.org/0000-0003-1639-4641>

To cite this article:

Aslan Türker, D., Göksel Saraç, M. & Doğan, M. (2022). Glütensiz unların tekno-fonksiyonel özellikleri ile toz akış davranışlarının belirlenmesi. Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 26(4): 528-537.
DOI:10.29050/harranziraat.1134317

*Address for Correspondence:

Mahmut DOĞAN

e-mail:

dogan@erciyes.edu.tr

Received Date:

22.06.2022

Accepted Date:

09.11.2022

© Copyright 2018 by Harran University Faculty of Agriculture. Available on-line at www.dergipark.gov.tr/harranziraat



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

ÖZ

Bu çalışmada, glütensiz ürünlerin üretiminde sıklıkla kullanılan esmer pirinç unu, kuru fasulye unu, mısır unu, teff unu ve karabuğday ununun toz akış özellikleri ile tekno-fonksiyonel özellikleri değerlendirilmiştir. Örneklerin suda çözünürlük, su ve yağ bağlama kapasitesi, yığın ve sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değerleri ile kekleşme, kohezyon ve toz akış hızı bağımlılık (PFSD) testi dâhil olmak üzere bir dizi özelliği ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar mısır unu hariç diğer unlarda kekleşmenin olmadığını göstermiştir. En düşük kohezyon indeksi değeri kuru fasulye ununda gözlenmiş olup bu örnek kolay akış sergilemiştir. Karabuğday unu, teff unu ve esmer pirinç unu kohesif akış özelliği göstermiş, mısır unu ise çok kohesif akış gösteren un grubunda sınıflandırılmıştır. Toz gıdaların taşınması ve işlenmesi gibi çeşitli endüstriyel uygulamaları simüle ettiği için 10, 20, 50 ve 100 mm s⁻¹ akış hızlarında gerçekleştirilen PFSD testi sonucunda glütensiz un numunelerinin akış stabilitesi değerlerinin 0.95 ile 1.04 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Glüten, Toz akış, Kekleşme, Kohezyon

ABSTRACT

In this study, powder flow properties and techno-functional properties of brown rice flour, bean flour, corn flour, teff flour and buckwheat flour, which are frequently used in the production of gluten-free products, were evaluated. A number of properties of the samples were measured, including water solubility, water and oil binding capacity, bulk and tapped bulk density values, and caking, cohesion and powder flow speed dependency (PFSD) tests. The results obtained showed that cake was not formed in flours except corn flour. The lowest cohesion index value was observed in bean flour, and this sample showed easy flow. Buckwheat flour, teff flour and brown rice flour showed cohesive flow, while corn flour was classified in the flour group with very cohesive flow. It was observed that the flow stability values of gluten-free flour samples vary between 0.95 and 1.04 as a result of the PFSD test performed at flow rates of 10, 20, 50 and 100 mm s⁻¹, as it simulates various industrial applications such as the transport and processing of powdered foods.

Key Words: Gluten, powder flow, caking, cohesion

Giriş

Unlu mamullerin üretiminde önemli bir yapı oluşturan gluten, hamurun elastikiyet özellikleri ile nihai ürünlerin görünümü ve yapısında anahtar

role sahip bir proteindir (Zoghi ve ark., 2021). Gluten, hamura eşsiz viskoelastisite ve pişme kalitesi sağlamasına karşın glütensiz üretilen ürünle genellikle sıvı kek hamurlarına benzeyen yapışkanlık gösterir ve elastikiyetten yoksundur

(Bender ve Schönlechner, 2020). Tüm bu üstün ve tekno-fonksiyonel özelliklerine rağmen glüten intoleransı/alerjisi konusundaki farkındalığın artması ve çölyak hastalığının tespitinin gelişen tanı yöntemleri ile daha kolay olması nedeniyle glutensiz ürünlere olan ihtiyaç dünya çapında gün geçtikçe daha fazla önem kazanmaktadır (Eimear Gallagher, 2008). Öte yandan 2017 yılında 4.18 milyar dolar olan glutensiz ürünler (unlu mamuller, atıştırmalıklar ve hazır ürünler, pizza, makarna, çeşniler ve soslar) pazarının 2023 yılında 6.47 milyar dolara yükseleceği tahmin edilmektedir (Xu ve ark., 2020).

Glütensiz ürünler ya hiç glüten içermemeli veya glüten varlığı 20 ppm'den düşük olmalıdır. Avrupa Birliği Komisyonu Yönetmeliği (EC No 41/2009), glütene karşı toleransı olmayan kişiler için gıda maddelerinin, nihai tüketiciye satıldığı şekliyle gıdada 100 mg kg⁻¹'i (100 ppm) geçmeyen bir glüten seviyesi içermesi gerektiğini bildirmektedir. Ayrıca, aynı yönetmelik 100 mg kg⁻¹'i geçmeyen glüten içeriğinin "çok düşük glüten" ve 20 mg kg⁻¹'i aşmayan glüten içeriğinin de "glütensiz" olarak etiketlenebileceğini belirtmektedir (Xu ve ark., 2020). Glütensiz bir diyetle olmaması gereken içerikler ise (i) buğday, çavdar, arpa, tritikale, kavuzlu buğday (dinkel), kamut ve yulaf unu veya katkı maddeleri ve bu tahıllardan yapılan yan ürünlerle hazırlanan ekmek, tahıl veya diğer yiyecekler; (ii) sosisli sandviç, salata sosları, konserve çorbalar/toz çorba karışımları, işlenmiş peynir, kremalı soslar gibi kıvam arttırıcı ve dolgu maddesi olarak buğday ve glüten türevleri içeren işlenmiş gıdalar; (iii) hap veya tabletlerde bağlayıcı olarak glüten kullanılan ilaçlardır (Gallagher ve ark., 2004).

Gıdaların toz akış özellikleri nihai ürünün kalite kontrolü için gereken önemli bir parametredir. Özellikle de yığın halindeki tozların taşınması, dünyadaki en yaygın endüstriyel faaliyetlerden biridir. Gıda, kimya, ilaç ve ziraat endüstrilerindeki

çoğu malzemenin üretim süreçleri ve son ürün için serbest akış özelliği göstermesi tercih edilir (Freeman ve ark., 2015). Ancak taşıma, işleme ve depolama gibi bazı koşullar altında, toz malzemeler kekleşme (topaklanma) eğilimi gösterebilir. Kekleşme ilk olarak serbest akışlı bir tozun topaklar halinde bir araya gelmesi şeklinde tanımlanır. Kekleşmenin yaygın tanımı ise, düşük nemli, serbest akışlı bir tozun önce topaklara, ardından aglomere bir katıya dönüştürülerek, işlevsellik kaybı ve düşük kalite ile sonuçlanan bir durum olarak yapılabilir (Chen ve ark., 2019). Bu durum paketleme, taşıma ve depolama işlemleri sırasında önemli sorunlara yol açabilmektedir. Ayrıca, toz ürünlerin akışında meydana gelen herhangi bir akış sorunu, birçok süreçte ciddi sorunlara ve önemli mali kayıplara neden olabilmektedir (Garg ve ark., 2022).

Bütün bu bilgiler göz önüne alındığında, glutensiz unların toz akış özellikleri ile tekno-fonksiyonel özelliklerinin belirlenmesi ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada amaç, glüten içermeyen unların kekleşme, toz akış hızı bağımlılık testi ve kohezyon testleri gibi toz akış özellikleri belirlenerek bu unların toz akış davranışları ile fizikokimyasal özelliklerini belirlemektir.

Materyal ve Metot

Materyal

Çalışmada kullanılan karabuğday unu, esmer pirinç unu, teff unu ve kuru fasulye unu NaturelKa (Aydın, Türkiye)'dan, mısır unu ise Bağdat Baharat (Kahramanmaraş, Türkiye)'den temin edilmiştir. Çalışmada materyal olarak kullanılan unların bileşenleri üretici firmalardan temin edilmiş olup Çizelge 1' de verilmiştir. Unların karakterizasyonunda kullanılan kimyasallar analitik saflıkta olup çalışmalarda distile su kullanılmıştır.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan unların kimyasal bileşimi

Table 1. Chemical composition of the flours used in the study

Örnekler/Bileşenler Samples/Compositions	Karbonhidrat(%) Carbohydrate(%)	Protein (%) Protein (%)	Yağ (%) Fat (%)	Lif (%) Fiber (%)
EPU	74.0	7.3	2.1	1.2
TU	65.4	12.3	2.1	7.9
KU	65.3	10.8	2.6	12.1
KFU	33.1	19.3	1.6	34.0
MU	23.6	10.9	5.6	21.1

*EPU: esmer pirinç unu; TU: teff unu; KU: karabuğday unu; KFU: kuru fasulye unu; MU: mısır unu

Tekno-fonksiyonel özellikler

Suda çözünürlük analizi

Örneklerin suda çözünürlük analizi için 0.5 gr örnek tartılıp üzerine 40 ml saf su eklenerek vortekslenmiştir. Ardından 3500 rpm de 5 dk santrifüj edilip üstte kalan kısımdan 25 ml alınarak 70 °C'deki 24 saatlik sürenin sonunda suda çözünürlük değerleri hesaplanmıştır (Alaşalvar, 2017).

Yiğın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yiğın yoğunluğu

Örneklerin yiğın yoğunluğu analizi için önceden darası alınmış plastik mezürler kullanılmıştır. Mezürlere herhangi bir basınç uygulamadan örnekler doldurularak ağırlıkları not edilmiştir. Örneklerin yiğın yoğunluğu değerleri, numune ağırlığının hacmine (g cm^{-3}) oranlanması ile belirlenmiştir. Glütensiz unların sıkıştırılmış yiğın yoğunluğu değerleri ise mezürün içerisindeki örneklerin hafif bir şekilde ve belirli sayıda düz bir zemine vurularak sıkıştırılması ile oluşan son hacmin ölçülmesi yoluyla bulunmuştur (Huang ve ark., 2018).

Hausner oranı ve carr indeks değerlerinin belirlenmesi

Örneklerin yapışma ve akma özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan iki değer olan Hausner oranı ve carr indeksi değeri yiğın yoğunluk ve sıkıştırılmış yiğın yoğunluğu değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Hausner oranı yiğın yoğunluğu değerinin sıkıştırılmış yiğın yoğunluğu değerine oranlanması ile bulunmuştur. Carr indeks değeri ise aşağıdaki formül aracılığıyla hesaplanmıştır (Jan ve ark., 2015).

$$\text{Carr indeksi} = \frac{\text{Yiğın yoğunluğu} - \text{Sıkıştırılmış yiğın yoğunluğu}}{\text{Yiğın yoğunluğu}} \quad (1)$$

Yağ tutma kapasitesi

Örneklerin yağ tutma kapasitesinin belirlenmesi için her bir numuneden 1 g alınarak darası bilinen santrifüj tüplerine konulmuştur. Ardından santrifüj tüplerine 30 ml ayçiçek yağı eklenerek 1 dk boyunca homojenizasyonu sağlanmıştır. Oda sıcaklığında 24 saat bekletilen örnekler 20 dk 3000 xg'de santrifüj edilmiştir. Ardından üstte kalan yağ dikkatli bir şekilde alınarak santrifüj tüpü tekrar tartılmıştır. Her bir örnek için yağ tutma kapasitesi, gram başına örneğin bağıladığı yağ miktarı olarak g g^{-1} cinsinden hesaplanmıştır (de Moraes Crizel ve ark., 2013).

Su tutma kapasitesi

Çalışmada kullanılan glütensiz unların su tutma kapasitesinin belirlenmesi için 1 g numune darası bilinen santrifüj tüplerine konulmuş ve üzerine 30 ml saf su eklenmiştir. Oda sıcaklığında 1 dk vortekslenerek örneklerin homojenizasyonu sağlanmıştır. 24 saat oda sıcaklığında bekletilen numuneler 3000xg'de 20 dk santrifüj edilmiştir. Santrifüj işleminin ardından üst kısımda toplanan su dikkatli bir şekilde alınarak santrifüj tüpü tekrar tartılmıştır. Su tutma kapasitesi her bir örnek için gram başına örneğin bağıladığı su miktarı olarak g g^{-1} cinsinden hesaplanmıştır (de Moraes Crizel ve ark., 2013).

Toz akış özellikleri

Glüten içermeyen unların toz kekleşme ve kohezyon testi ile toz akış hızı bağımlılık testi (PFSD) özel toz akış ölçüm bıçağı (Selective laser sintered DMLS stainless steel 316, İngiltere) kullanılarak Stable Micro System (TA-XT2 Plus, İngiltere) tekstür cihazı ile yapılmıştır. Test

Texture Exponent 32 yazılımı kullanılarak da numunelerin akış analizi verilerine ait hesaplamalar yapılmıştır.

İstatistiksel analiz

Glütensiz unlarda gerçekleştirilen analizlerin değerlendirilmesi Minitab (Windows Sürüm 18 için MINITAB) programı kullanılarak tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile yapılmıştır. Örnekler arası fark olup olmadığının yorumlanması ve ortalamaların karşılaştırılması ise Tukey testi ile gerçekleştirilmiştir.

Araştırma Bulguları ve Tartışma

Tekno-fonksiyonel özellikler

Unlu mamuller endüstrisinde hammadde olarak kullanılacak olan unun tekno-fonksiyonel özellikleri son ürün kalitesine doğrudan etki etmektedir. Dolayısıyla da unların suda çözünürlük, su ve yağ tutma kapasitesi ile özellikle toz ürünlerin ambalajlanmasında önemli parametreler olan yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değerlerinin tespiti önem arz etmektedir. Glütensiz unların suda çözünürlük, su ve yağ bağlama kapasitesi değerleri Çizelge 2' de verilmiştir.

Çizelge 2. Glütensiz unların suda çözünürlük, su ve yağ bağlama kapasitesi değerleri
Table 2. Water solubility, water and oil binding capacity values of gluten-free flours

	Suda Çözünürlük (%) Solubility (%)	Su Bağlama Kapasitesi (g ml ⁻¹) Water holding capacity (g ml ⁻¹)	Yağ Bağlama Kapasitesi (g ml ⁻¹) Oil holding capacity (g ml ⁻¹)
EPU	3.73 ± 0.91 ^c	1.60 ± 0.00 ^{a,b}	1.64 ± 0.07 ^a
TU	3.27 ± 0.29 ^c	1.63 ± 0.01 ^a	1.65 ± 0.01 ^a
KU	5.39 ± 0.35 ^b	1.42 ± 0.06 ^c	1.69 ± 0.06 ^a
KFU	7.29 ± 0.39 ^a	1.29 ± 0.02 ^d	1.66 ± 0.03 ^a
MU	1.98 ± 0.02 ^d	1.55 ± 0.04 ^b	1.66 ± 0.04 ^a

* Aynı sütündeki farklı harf ile işaretlenmiş ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p < 0.05$). Means marked with different letters in the same column are statistically different ($p < 0.05$).

**EPU: esmer pirinç unu; TU: teff unu; KU: karabuğday unu; KFU: kuru fasulye unu; MU: mısır unu. EPU: brown rice flour; TU: teff flour; KU: buckwheat flour; KFU: dry bean flour; MU: corn flour

Unların suda çözünürlük değerleri, yapıda bulunan nişastanın degradasyonunun bir göstergesidir. Suda çözünürlük verileri, nişastanın üzerine eklenen fazla su ile birlikte granülden salınan serbest polisakkarit ile yapıdaki serbest polisakkarit miktarı hakkında bilgi verir (Choi ve ark., 2012). Glütensiz unların suda çözünürlük değerleri incelendiğinde, en düşük değer mısır ununa (%1.98) ait olduğu en yüksek değer ise kuru fasulye ununda (% 7.29) kaydedildiği görülmektedir. Çizelge 2'deki sonuçlara göre, daha yüksek çözünürlük değerine sahip kuru fasulye ununun daha hızlı çözüldüğü ve daha fazla viskozite sağladığı söylenebilir.

Unların suda çözünürlük değerlerinin bilinmesi, yapıda bulunan amorf ve kristal alanlar arasındaki etkileşim hakkında bilgi verir (Kusumayanti ve ark., 2015). Ayrıca unların suda çözünürlük değerleri, nişasta granülündeki üç boyutlu misel ağının özellikleri ve yoğunluğu, moleküler

düzeyde bağlanma dereceleri, moleküler ağırlık dağılımı, dallanma derecesi ve uzunluğu ile konformasyon açısından amiloz ve amilopektinin özelliklerine de bağlıdır (Kumoro ve ark., 2012). Unların yapısında bulunan nişastaların çözünürlüğünü etkileyebilecek diğer faktörler ise; unun elde edildiği kaynak, şişme gücü, amorf ve kristalin alanlar içindeki birleştirici kuvvetler ve diğer bileşenlerin (fosfor vb.) varlığıdır (Moorthy, 2002). Bu bilgiler ışığında, çalışmada kullanılan glütensiz unların suda çözünürlük değerlerinin birbirinden farklı olmasının nedeni, unların elde edildiği kaynakların çeşitliliği, yapıda bulunan amorf ve kristal bölgelerin farklı konumlanması ve amiloz/amilopektin etkileri olabilir.

Unların su bağlama kapasiteleri diğer fonksiyonel ve duyuşsal özellikleri etkilemesi dolayısıyla gıda hazırlama sürecinde önemli rol oynar (Du ve ark., 2014). Su bağlama kapasitesi, bir gram protein bileşeni başına emilebilen su

miktarı olarak tanımlanır (Foschia ve ark., 2017). Bu çalışma kapsamında değerlendirilen glütensiz unlarının su bağlama kapasiteleri 1.29 g ml^{-1} ile 1.63 g ml^{-1} arasında değişmektedir. En düşük su tutma kapasitesi değeri kuru fasulye ununda, en yüksek değer ise esmer pirinç ununda kaydedilmiştir (Çizelge2).

Unların su tutma kapasiteleri pişirme özellikleri ile doğrudan ilişkilidir ve gıda işleme özelliklerini etkilemektedir (Du ve ark., 2014). Kaur ve Singh (2005), polisakkaritler gibi hidrofilik grupları içeren unların genellikle yüksek su tutma kapasitesine sahip olduğunu bildirmiştir. Bu durum en yüksek karbonhidrat içeriğine sahip esmer pirinç ununun (EPU) en yüksek su bağlama kapasitesi değerine sahip olması durumunu açıklamaktadır. Öte yandan unlarının protein kalitesi de su tutma kapasitesini etkilemektedir (Du ve ark., 2014).

Yağ bağlama kapasitesi proteinlerin veya unların ağırlığı başına emilen yağın ağırlığı olarak hesaplanır. Yağ bağlama kapasitesi, proteinlerin yan zincirlerinde bulunan polar olmayan amino asitler tarafından yağın bağlanmasıdır. Proteinin yağ bağlama kapasitesi de unlu mamuller gibi işlenmiş gıdalarda dokuyu iyileştirir ve verim kayıplarını azaltır (Foschia ve ark., 2017). Bu çalışmada glütensiz unların yağ bağlama kapasitelerinin 1.64 g ml^{-1} ile 1.69 g ml^{-1} arasında değiştiği gözlenmiş olup en yüksek yağ bağlama kapasitesi değeri KU'da, en düşük değer ise

EPU'da hesaplanmıştır. Gıda proteininin su ve yağ bağlama kapasitesi, amino asit bileşimi, protein yapısı ve yüzey polaritesi veya hidrofobikliği gibi faktörlere bağlıdır (Du ve ark., 2014). Bununla birlikte, gıdaların bileşiminde bulunan yağlar, lezzet tutucu görevi gördüğü ve yiyeceklerin ağızda bıraktığı hissi arttırdığı için yağ tutma kapasitesi önemli bir parametre olarak değerlendirilmektedir (Elkhalifa ve Bernhardt, 2010). Bu nedenle, en yüksek yağ bağlama kapasitesine sahip karabuğday unu lezzet tutucu olarak diğer unlardan daha iyi olabilir. Öte yandan yüksek yağ bağlama kapasitesi değeri nedeniyle karabuğday ununun sosis gibi yağ bağlamanın yüksek olmasının istendiği ürünlerde kullanım olanağı artabilir. Ayrıca karabuğday unu, lezzet ve ağız hissini arttırılması amacıyla da kullanılabilir. Bununla birlikte, Kinsella ve Melachouris (1976)'ya göre hidrofobisitesi daha fazla olan proteinlere lipitler daha iyi bağlanabilmektedir. Bu durum polar olmayan amino asit yan zincirlerinin yağların parafin zincirlerini bağladığının göstergesidir. Bu önermeye dayanarak daha yüksek yağ bağlama kapasitesine sahip karabuğday ununun protein moleküllerinde muhtemelen daha yüksek miktarda polar olmayan yan zincirlerin olduğu sonucuna varılabilir.

Farklı kaynaklardan elde edilen glütensiz unların yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değerleri arasında önemli farklılıklar gözlenmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Glütensiz unların bazı toz özellikleri

Table 3. Some powder properties of gluten-free flours

	Yığın yoğunluk (g cm^{-3}) <i>Bulk density</i> (g cm^{-3})	Sıkıştırılmış yığın yoğunluk (g cm^{-3}) <i>Tapped bulk density</i> (g cm^{-3})	Carr indeks (%) <i>Carr index</i> (%)	Hausner oranı <i>Hausner ratio</i>
EPU	0.49 ± 0.01^c	0.72 ± 0.01^d	27.75 ± 0.64^a	1.47 ± 0.03^b
TU	0.61 ± 0.01^b	0.80 ± 0.00^b	20.50 ± 0.21^c	1.30 ± 0.02^c
KU	0.60 ± 0.00^b	0.78 ± 0.01^c	22.23 ± 1.10^b	1.30 ± 0.02^c
KFU	0.67 ± 0.01^a	0.83 ± 0.01^a	17.07 ± 0.61^d	1.23 ± 0.02^d
MU	0.51 ± 0.00^c	0.82 ± 0.01^a	18.42 ± 1.06^d	1.59 ± 0.04^a

* Aynı sütundaki farklı harf ile işaretlenmiş ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p < 0.05$). Means marked with different letters in the same column are statistically different ($p < 0.05$).

**EPU: esmer pirinç unu; TU: teff unu; KU: karabuğday unu; KFU: kuru fasulye unu; MU: mısır unu. EPU: brown rice flour; TU: teff flour; KU: buckwheat flour; KFU: dry bean flour; MU: corn flour

Yığın yoğunluğu, kuru toz ürün karışımlarındaki malzemelerin fiziksel özelliklerinden biri olarak değerlendirilir ve nihai ürünün paketlenme

gereksinimlerinin belirlenmesinde önemli bir parametredir (Mohamed ve ark., 2009). Glütensiz unların yığın yoğunluğu değerleri 0.49 g cm^{-3} ile

0.67 g cm⁻³ arasında değişmekte olup, en yüksek ve en düşük değerler sırasıyla kuru fasulye unu ve esmer pirinç unundan elde edilmiştir. Kuru fasulye ununun daha yüksek yığın yoğunluğa sahip olması diğer glütensiz unlardan daha yoğun olduğunu göstermektedir. Yığın yoğunluğu yüksek olan unun avantajı, dağıtım sırasında fazla yer kaplamaması ve paketleme maliyetlerini düşürmesidir (Ratnawati ve ark., 2019). Diğer glütensiz unlar ile karşılaştırıldığında, kuru fasulye ununun birim ağırlık başına alan ihtiyacı ve paketleme maliyetlerinin daha az olduğu söylenebilir. Yüksek yığın yoğunluğu, işlenmiş gıdalarda kullanıma uygunluğunun yanı sıra gıda ürünlerinde iyi bir kıvam artırıcı olarak kullanılabileceğini gösterir (Ratnawati ve ark., 2019).

Esmer pirinç ununun nispeten daha düşük yığın yoğunluğa sahip olması diğer unlara göre daha hafif olmasının bir göstergesidir. Düşük yığın yoğunluğu değeri tamamlayıcı gıdaların formülasyonunda bir avantaj olarak değerlendirilebilir (Appiah ve ark., 2011).

Toz ürünlerin sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değerleri numunelerin yığın yoğunluğu değerinin bulunmasının ardından toz ürünlere belirli oranda kuvvet uygulanarak sıkıştırılan tozun hacminin belirlenmesi yoluyla bulunmaktadır (Atalar, 2018). Bu çalışma sunucunda elde edilen veriler glütensiz unların sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değerleri arasında önemli farklılıklar olduğunu ($p<0.05$) göstermiştir.

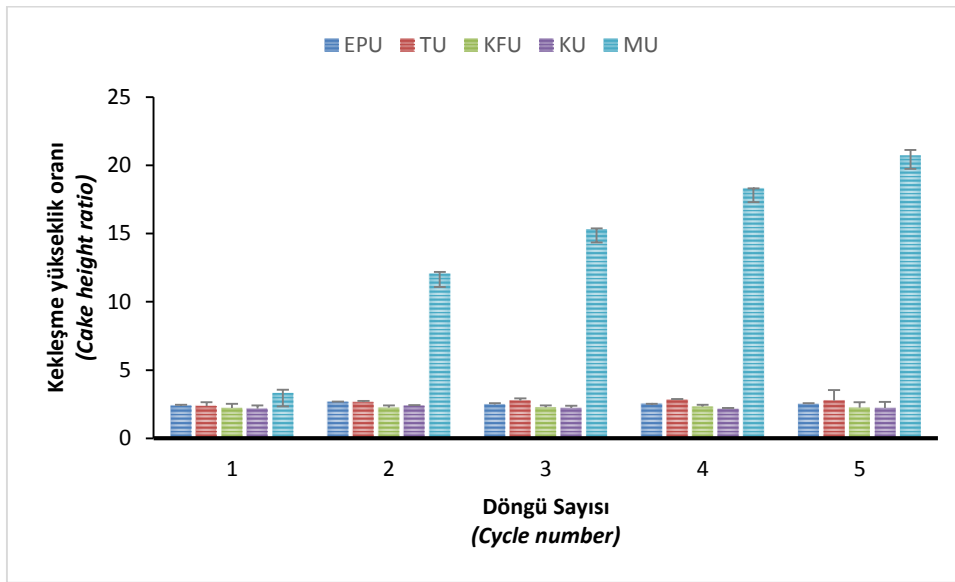
Toz gıda ürünlerinin yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yığın yoğunluğu verileri ile hesaplanan Hausner oranı ile Carr index değeri ise sırasıyla toz ürünlerin yapışkanlık özelliklerini ve toz ürünlerin akabilirlik özelliklerini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır (Caliskan Koc ve Dirim, 2017). Bu çalışma kapsamında değerlendirilen glütensiz unların Carr indeks değerleri %17.07 ile 27.75 arasında, Hausner oranları ise 1.23-1.59 arasında

hesaplanmıştır. Jinapong ve ark. (2008) tarafından Carr index temel alınarak yapılan sınıflandırmaya göre esmer pirinç unu, teff unu ve karabuğday ununun Carr indeksi değerleri %20-35 arasında olduğundan 'zayıf akış', kuru fasulye unu ile mısır ununun Carr indeksi değerleri ise %15-20 arasında yer aldığından 'iyi' akış özelliği sergilemiştir. Yine aynı çalışmada Hausner oranı baz alınarak yapılan sınıflandırmada ise teff unu, karabuğday unu ve kuru fasulye ununun Hausner oranı 1.2-1.4 arasında olduğundan 'orta' yapışkanlık, esmer pirinç unu ve mısır ununun ise Hausner oranı >1.4 olduğundan 'yüksek' yapışkanlık gösterdiği bulunmuştur.

Toz akış özellikleri

Düşük nem (<%5) içeriğine sahip amorf toz gıdalarda görülen kekleşme olayı gıdaların yapısında bulunan toz taneciklerinin birleşerek önce toplara, ardından aglomere ve yapışkan istenmeyen bir malzemeye dönüştüğü ve toz gıdaların kalitesinin ve işlevselliğinin düşmesine neden olan zararlı bir olgudur (Aguilera ve ark., 1995). Kekleşme sırasında oluşan yapılar akışkanlık kaybına neden olan küçük ve yumuşak birikimlerden sert toplara kadar değişen özellik gösterebilmektedir (Mercan ve ark., 2018). Toz bir gıdanın kekleşmeye olan hassasiyeti onların paketleme, taşıma ve depolama özellikleri hakkında çok önemli ipuçları verebilmektedir.

Şekil 1'de glütensiz unların döngü sayısı ile değişen kekleşme yükseklik oranları verilmiştir. Kekleşme yükseklik oranları toz gıdalarda oluşan kekleşmenin boyutu hakkında önemli bilgiler verir (Mercan ve ark., 2018). Bu çalışma kapsamında değerlendirilen mısır ununun kekleşme yükseklik oranları döngü sayısının artmasıyla birlikte artmıştır (Şekil 1). Bu durum da mısır unu tozlarının kekleşme eğiliminin yüksek olduğunu ve dolayısıyla kekleşme gücü ile ortalama kekleşme gücünün daha yüksek olduğunu göstermiştir.



Şekil 1. Örneklerin döngü sayılarına göre değişen kekleşme yükseklik oranı değerleri

Figure 1. The cake height ratio values of the samples according to the cycle number

*EPU: esmer pirinç unu; TU: teff unu; KU: karabuğday unu; KFU: kuru fasulye unu; MU: mısır unu. EPU: brown rice flour; TU: teff flour; KU: buckwheat flour; KFU: dry bean flour; MU: corn flour

Çalışılan tüm döngü sayılarında en yüksek kekleşme yükseklik oranı değeri mısır ununda gözlenmiştir. Nitekim mısır unu hariç diğer tüm glutensiz unlarda kekleşme oluşmazken, mısır ununun kekleşme gücü değeri 3418.10 ± 27.44 g.mm, ortalama kekleşme gücü değeri ise 250.51 ± 3.66 g olarak hesaplanmıştır. Bu durumda kekleşmeye olan eğilim en fazla mısır ununda gözlenmiştir. Formülasyonunda mısır unu bulunan gıda ürünlerinin ambalajlama, depolama ve

taşıma işlemleri sırasında ilave hassasiyet gösterilmesi gerektiği vurgulanabilir.

Gıdalarda bulunan toz parçacıklarının birbirine yapışma ve daha büyük parçacık kümesi oluşturma eğilimi kohezyon olarak tanımlanır (Mercan ve ark., 2018). Glütensiz unlara ait kohezyon indeksi değerleri ve kohezyon indeksine dayalı olarak akış davranışlarının sınıflandırılması Çizelge 4'te sunulmuştur.

Çizelge 4. Kohezyon indeksi değerleri ve akış özellikleri

Table 4. Cohesion index values and flow properties

Örnekler Samples	Kohezyon indeksi Cohesion index	Akış özelliği Powder properties
KU	14.69 ± 0.13^b	Kohesif (cohesive)
TU	14.24 ± 0.31^b	Kohesif (cohesive)
EPU	14.29 ± 0.12^b	Kohesif (cohesive)
MU	18.48 ± 0.31^a	Çok kohesif (very cohesive)
KFU	12.94 ± 0.26^c	Kolay akış (easy flow)

* Aynı sütundaki farklı harf ile işaretlenmiş ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p < 0.05$). Means marked with different letters in the same column are statistically different ($p < 0.05$).

**EPU: esmer pirinç unu; TU: teff unu; KU: karabuğday unu; KFU: kuru fasulye unu; MU: mısır unu. EPU: brown rice flour; TU: teff flour; KU: buckwheat flour; KFU: dry bean flour; MU: corn flour

Glütensiz unların elde edildiği kaynak farklılaşması kohezyon indeksi değerlerini önemli ölçüde etkilemiştir ($p < 0.05$). En düşük kohezyon indeksi değeri kuru fasulye ununda gözlenmiş olup bu örnek kolay akış sergilemiştir. Karabuğday unu, teff unu ve esmer pirinç unu ise kohesif akış özelliği göstermiştir. En yüksek kohezyon indeksi değerine sahip mısır unu ise çok kohesif akış gösteren un grubunda sınıflandırılmıştır. Unların kekleşme özellikleri ile birlikte

değerlendirildiğinde mısır ununun kohezyon indeksi değeri ile kekleşme özelliklerinin uyumlu olduğu gözlenmektedir.

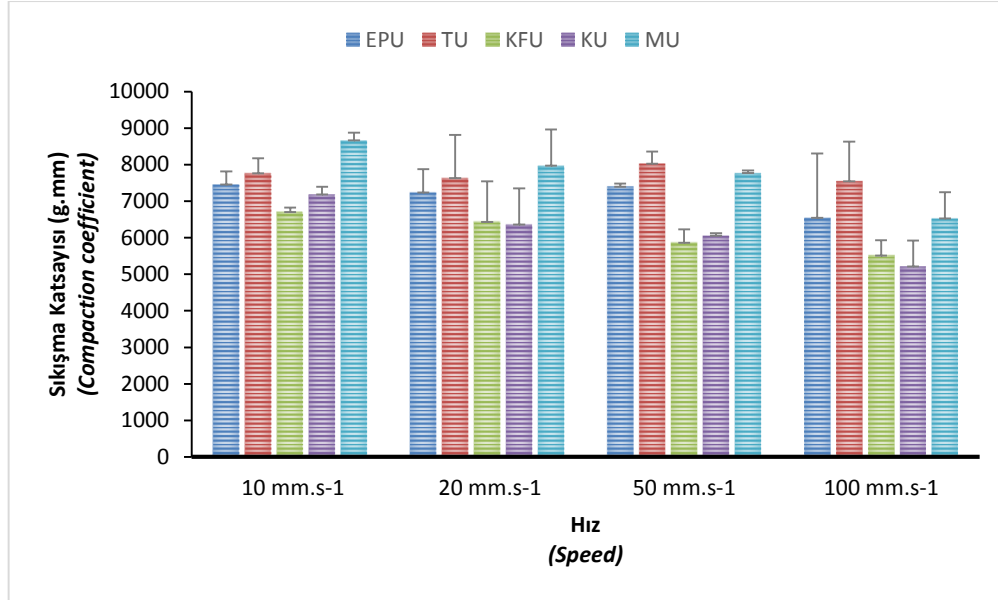
Kohezyon, toz gıdaların akışını doğrudan etkileyen bir özelliktir. Toz gıda ürünlerinin kohesif olması durumunda gıdaların taşıma, depolama ve ambalajlama aşamasında stopaj sorunları gibi bazı sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Bu çalışmadan alınan sonuçlar, kuru fasulye ununun diğer glutensiz unlara göre daha düşük

kohezyon indeks değerlerine sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuç, glutensiz unlu mamuller endüstrisinde kuru fasulye unu kullanımının, ürünlerin kohezyonunu azaltmak için önemli olabilir.

Glütensiz un numunelerinin akış hızına bağlı olarak akış davranışı toz akış hızı bağımlılık (PFSD) testi ile belirlenmiştir. PFSD testi, toz gıdaların

taşınması ve işlenmesi gibi çeşitli endüstriyel uygulamaları simüle ettiği için 10, 20, 50 ve 100 mm s⁻¹ akış hızlarında gerçekleştirilmiştir. Sıkışma döngüsünün değişimi ile sıkışma katsayısında meydana gelen değişim Şekil 2'de gösterilmiştir

Numunelerin PFSD testi ile belirlenen akış stabilitesi değerleri ile 50 mm s⁻¹'deki kohezyon katsayısı değerleri Çizelge 5'de sunulmuştur.



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

*EPU: esmer pirinç unu; TU: teff unu; KU: karabuğday unu; KFU: kuru fasulye unu; MU: mısır unu. EPU: brown rice flour; TU: teff flour; KU: buckwheat flour; KFU: dry bean flour; MU: corn flour

Çizelge 5. Akış stabilitesi ve 50 mm sn⁻¹'deki kohezyon katsayısı değerleri

Table 5. Flow stability and cohesion coefficient values at 50 mm s⁻¹

Örnekler Samples	Akış stabilitesi Flow stability	Kohezyon katsayısı (g.mm) Cohesion coefficient (g.mm)
EPU	0.98 ± 0.04	-1570.20 ± 19.36
TU	1.00 ± 0.01	-1454.50 ± 15.11
KFU	1.04 ± 0.03	-1184.69 ± 10.78
KU	0.95 ± 0.02	-1292.37 ± 14.21
MU	1.00 ± 0.05	-2063.81 ± 21.10

* Aynı sütundaki farklı harf ile işaretlenmiş ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p < 0.05). Means marked with different letters in the same column are statistically different (p < 0.05).

**EPU: esmer pirinç unu; TU: teff unu; KU: karabuğday unu; KFU: kuru fasulye unu; MU: mısır unu. EPU: brown rice flour; TU: teff flour; KU: buckwheat flour; KFU: dry bean flour; MU: corn flour

Tozların akış stabilitesi değerleri, glutensiz un numunelerinin akış direnci hakkında önemli bilgiler sağlamakla birlikte ürünün bozulmaya karşı duyarlılığının da bir göstergesidir. Çalışma kapsamında değerlendirilen glutensiz un numunelerinin akış stabilitesi 0.95 ile 1.04 arasında değişmiştir. Numuneler arasındaki farklılık toz akış stabilitesi değerinde önemli farklılıklar (p < 0.05) meydana getirmiştir. Toz bir ürünün akış stabilitesi değeri 1.00'e ne kadar

yakınsa ürün analiz boyunca o kadar az değişime uğrar (Benković ve ark., 2013). Bu kapsamda değerlendirildiğinde karabuğday ununun test esnasında diğer glutensiz unlara kıyasla daha fazla değişime uğradığı söylenebilir. Bu değişimlerin yapıda bulunan toz partiküllerinin aşınması veya toz topraklarının parçalanması ile ilgili olabileceği düşünülmektedir.

Sonuçlar

Bu çalışmada, glutensiz unların teknolojik özellikleri ile toz akış özellikleri değerlendirilmiştir. Bu çalışma kapsamında glutensiz unlardan biri olarak ele alınan mısır ununun kekleşme yükseklik oranları döngü sayısının artmasıyla birlikte artmıştır. Bu sonuç, mısır unu tozlarının kekleşme eğiliminin yüksek olduğunu ve dolayısıyla kekleşme gücü ile ortalama kekleşme gücünün daha yüksek olduğunu göstermiştir. Yine en yüksek kohezyon indeksi değerine sahip mısır unu çok kohezif akış gösteren un grubunda sınıflandırılmıştır. En düşük kohezyon indeksi değerine sahip kuru fasulye ununun ise kolay akış sergilediği belirlenmiş olup glutensiz unlu mamuller endüstrisinde kuru fasulye ununun ürünlerin kohezyonunu azaltmak için kullanılabileceği öngörülmektedir.

Çıkar Çatışması: Bu makalenin yazarları, aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Yazar Katkısı: Duygu ASLAN TÜRKER ve Meryem GÖKSEL SARAÇ çalışmayı tasarlamış ve makaleyi yazmıştır, Duygu ASLAN TÜRKER verileri analiz etmiş olup Mahmut DOĞAN makale üzerinde gerekli inceleme ve düzenlemeleri yapmıştır.

Kaynaklar

- Aguilera, J., del Valle, J., & Karel, M. (1995). Caking phenomena in amorphous food powders. *Trends in Food Science & Technology*, 6(5), 149-155.
- Alaşalvar, H. (2017). *Tıbbi ve Aromatik Nane Türlerinden Buzlu Çay Üretimi*. (Yüksek Lisans Tezi), Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye.
- Appiah, F., Asibuo, J., & Kumah, P. (2011). Physicochemical and functional properties of bean flours of three cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) varieties in Ghana. *African Journal of Food Science*, 5(2), 100-104.
- Atalar, İ. (2018). *İstant Yoğurt Tozu Üretim Koşullarının Optimizasyonu*. (Doktora Tezi), Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.
- Bender, D., & Schönlechner, R. (2020). Innovative approaches towards improved gluten-free bread properties. *Journal of Cereal Science*, 91, 102904. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.102904>

- 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 and Bioprocess Technology*, 6(4), 1044-1058.
- Caliskan Koc, G., & Dirim, S. (2017). Influence of the Different Drying Agents on the Production of Spinach Powder by Spray Drying. *Innovations Food Science and Technology*, 10-12.
- Chen, M., Zhang, D., Dong, W., Luo, Z., Kang, C., Li, H., . . . Gong, J. (2019). Amorphous and humidity caking: A review. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 27(6), 1429-1438. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2019.02.004>
- Choi, I., Han, O.-K., Chun, J., Kang, C.-S., Kim, K.-H., Kim, Y.-K., . . . Kim, K.-J. (2012). Hydration and Pasting Properties of Oat (*Avena sativa*) Flour. *Preventive nutrition and food science*, 17(1), 87-91. doi: 10.3746/pnf.2012.17.1.087
- de Moraes Crizel, T., Jablonski, A., de Oliveira Rios, A., Rech, R., & Flôres, S. H. (2013). Dietary fiber from orange byproducts as a potential fat replacer. *LWT-Food Science and Technology*, 53(1), 9-14.
- Du, S.-k., Jiang, H., Yu, X., & Jane, J.-I. (2014). Physicochemical and functional properties of whole legume flour. *LWT - Food Science and Technology*, 55(1), 308-313. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.06.001>
- Elkhalifa, A. E. O., & Bernhardt, R. (2010). Influence of grain germination on functional properties of sorghum flour. *Food chemistry*, 121(2), 387-392.
- Foschia, M., Horstmann, S. W., Arendt, E. K., & Zannini, E. (2017). Legumes as functional ingredients in gluten-free bakery and pasta products. *Annual review of food science and technology*, 8, 75-96.
- Freeman, T., Brockbank, K., & Armstrong, B. (2015). Measurement and quantification of caking in powders. *Procedia Engineering*, 102, 35-44.
- Gallagher, E. (2008). 14 - Formulation and nutritional aspects of gluten-free cereal products and infant foods. In E. K. Arendt & F. Dal Bello (Eds.), *Gluten-Free Cereal Products and Beverages* (pp. 321-346). San Diego: Academic Press.
- Gallagher, E., Gormley, T. R., & Arendt, E. K. (2004). Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food Science & Technology*, 15(3), 143-152. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.09.012>
- Garg, V., Deng, T., & Bradley, M. S. A. (2022). A new method for assessing powder flowability based on physical properties and cohesiveness of particles using a small quantity of samples. *Powder Technology*, 395, 708-719. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.10.027>
- Huang, X., Dou, J.-y., Li, D., & Wang, L.-j. (2018). Effects of superfine grinding on properties of sugar beet pulp powders. *LWT*, 87, 203-209.
- Jan, S., Rafiq, S. I., & Saxena, D. (2015). Effect of physical properties on flow ability of commercial rice flour/powder for effective bulk handling. *International Journal of Computer Applications*, 975, 8887.

- Jinapong, N., Suphantharika, M., & Jamnong, P. (2008). Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*, 84(2), 194-205. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.04.032>
- Kaur, M., & Singh, N. (2005). Studies on functional, thermal and pasting properties of flours from different chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Food chemistry*, 91(3), 403-411.
- Kinsella, J. E., & Melachouris, N. (1976). Functional properties of proteins in foods: a survey. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 7(3), 219-280.
- Kumoro, A. C., Retnowati, D. S., Budiayati, C. S., Manurung, T., & Siswanto, H. (2012). Water solubility, swelling and gelatinization properties of raw and ginger oil modified gadung (*Dioscorea hispida* Dennst) flour. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 4(17), 2854-2860.
- Kusumayanti, H., Handayani, N. A., & Santosa, H. (2015). Swelling Power and Water Solubility of Cassava and Sweet Potatoes Flour. *Procedia Environmental Sciences*, 23, 164-167. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.01.025>
- Mercan, E., Sert, D., & Akin, N. (2018). Determination of powder flow properties of skim milk powder produced from high-pressure homogenization treated milk concentrates during storage. *LWT*, 97, 279-288. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.002>
- Mohamed, T. K., Zhu, K., Issoufou, A., Fatmata, T., & Zhou, H. (2009). Functionality, in vitro digestibility and physicochemical properties of two varieties of defatted foxtail millet protein concentrates. *International Journal of Molecular Sciences*, 10(12), 5224-5238.
- Moorthy, S. N. (2002). Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: a review. *Starch-Stärke*, 54(12), 559-592.
- Ratnawati, L., Desnilasari, D., Surahman, D., & Kumalasari, R. (2019). *Evaluation of physicochemical, functional and pasting properties of soybean, mung bean and red kidney bean flour as ingredient in biscuit*. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Xu, J., Zhang, Y., Wang, W., & Li, Y. (2020). Advanced properties of gluten-free cookies, cakes, and crackers: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 103, 200-213. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.017>
- Zoghi, A., Mirmahdi, R. S., & Mohammadi, M. (2021). The role of hydrocolloids in the development of gluten-free cereal-based products for coeliac patients: a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(7), 3138-3147.